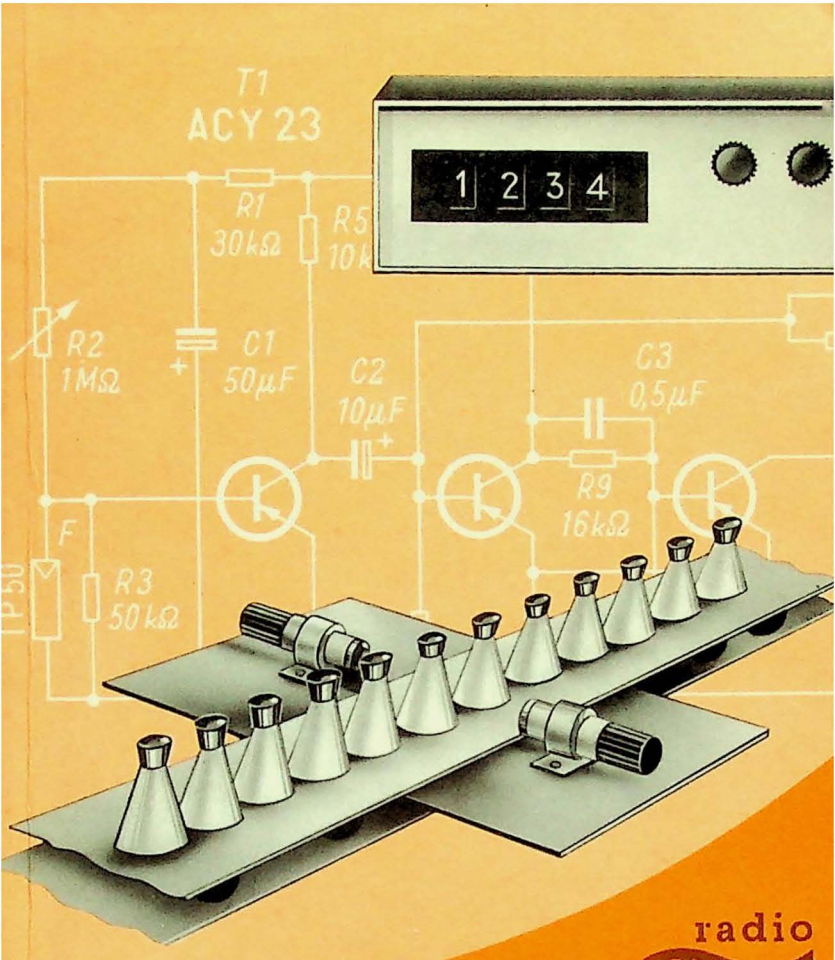


radio PRAKTIKER bücherei

WILHELM HENNIG

Elektronische Schaltungen mit Fotozellen

Franzis

Die Cellu-Bände der Radio-Praktiker-Bücherei

Preis je Nr. 2.50 DM, Mehrfach-Nr. entsprechend. Preisänderungen vorbehalten.

Vorläufiges Verzeichnis: Verlangen Sie bitte ausführliche Verzeichnisse!

1 **Endröhren und Endstufen-Transistoren und ihre Schaltungen** (H. Sutaner). 3. Auflage, 72 Seiten, 45 Bilder, 3 Tabellen.

3/5 **UKW-FM-Rundfunk-Praktikum** (Herbert G. Mende). 6. Aufl., 172 Seiten, 82 Bilder, 13 Tab.

6 **Antennen für Rundfunk- und Fernseh-Empfang** (Herbert G. Mende). 12. Aufl., 68 Seiten, 36 Bilder, 7 Tab.

7/8 **Niederfrequenz-Verstärker mit Röhren und Transistoren** (Fritz Kühne). 12. Auflage, 144 Seiten, 100 Bilder, 13 Tabellen.

9/10 **Tonbandgeräte-Praxis** (Wolfgang Junghans). 9. Aufl., 128 Seiten, 88 Bilder, 7 Tabellen.

11/12 **Mono-, Stereo- und Transistor-Mikrofone.** Aufbau, Verwendung und Selbstbau (Fritz Kühne). 7. Auflage, 116 Seiten, 71 Bilder, 3 Tabellen.

13 **Schliche und Kniffe für Radiopraktiker** Teil I. Erfahrungen aus Werkstatt und Labor (Fritz Kühne). 9. Aufl., 64 Seiten, 56 Bilder. *

14 **Wellen und Frequenzen für Rundfunk und Fernsehen.** Erzeugung, Ausbreitung und Bereichsaufteilung (Gustav Büscher). 4. Aufl., 72 Seiten, 57 Bilder, 20 Tabellen.

16 **Widerstandskunde für Radio-Praktiker.** Die Festwiderstände in Berechnung und Anwendung (Georg Hoffmeister). 5. Auflage, 72 Seiten, 9 Bilder, 2 Nomogr. und 6 Zahlentafeln.

18/19 **Radio-Röhren** (Herbert G. Mende). 3. Aufl., 132 Seiten, 66 Bilder, 2 Tab.

20 **Methodische Fehlersuche in Rundfunkempfängern.** (Dr. A. Renardy). 11. Aufl., 68 Seiten, 20 Bilder.

21/21a **Funktechniker lernen Formelrechnen** (Fritz Kunze). 6. Aufl., 128 S., 42 B.

22/23a **Lehrgang Radiotechnik** Band I (Ferd. Jacobs). 9. Aufl., 184 S., 151 Bilder.

24/25a desgl. Band II (Ferdinand Jacobs). 6. Aufl., 202 Seiten, 135 Bilder.

26 **Meß- und Schaltungspraxis für Heimton und Studio** (Fritz Kühne). 4. Aufl., 68 Seiten, 33 Bilder, 6 Tabellen.

27/27a **Rundfunkempfang ohne Röhren.** Vom Detektor zum Transistor (Herbert G. Mende). 12. Aufl., 128 Seiten, 94 Bilder, 9 Tabellen. *

28/28b **Glimmröhren und Kaltkatoden-Relaisröhren,** ihr Aufbau und ihre Schaltungen (O. P. Herrnkind). 5. Auflage, 192 Seiten, 288 Bilder.

29/30 **Kleines ABC der Elektroakustik** (Gustav Büscher). 5. Aufl., 148 Seiten, 131 Bilder, 52 Tabellen.

31/32 **Sender-Baubuch für Kurzwellen-Amateure** I. Teil (Ing. H. F. Steinhauser). 9. Aufl., 128 S., 56 Bilder.

33/35 **Dioden-, Röhren- und Transistorvoltmeter** (Ing. Otto Limann). 7. Aufl., 180 Seiten, 160 Bilder.

37/38 **Fehlersuche durch Signalverfolgung und Signalzuführung** (Dr. A. Renardy). 5. Aufl., 136 Seiten, 67 Bilder, 2 Tabellen.

41/41a **Kurzwellen- und UKW-Empfänger für Amateure** Band 1. Geradeausempfänger und Standardsuper (Werner W. Diefenbach). 10. Auflage, 128 Seiten, 122 Bilder, 10 Tabellen.

42/42b desgl. Band 2. Spitzensuper und Transistorempfänger (Werner W. Diefenbach). 148 Seiten, 105 Bilder, 10 Tab.

43 **Musikübertragungs-Anlagen.** Planung, Aufbau und Wartung (Fritz Kühne). 4. Aufl., 72 Seiten, 39 Bilder, 11 Tabellen.

44 **Kurzwellen-Amateurantennen** für Sendung und Empfang (W. W. Diefenbach). 7. Aufl., 80 Seiten, 94 Bilder, 10 Tabellen.

45/46 **UKW-Sender- und Empfänger-Baubuch für Amateure** (Ing. H. F. Steinhauser). 6. Aufl., 136 S., 90 Bilder.

50 **Praktischer Antennenbau** (Herbert G. Mende). 11. Aufl., 72 Seiten, 38 Bilder, 9 Tabellen.

55/56 **Fernsehtechnik von A bis Z** (K. E. Wacker / Joachim Conrad). 5. Aufl., 136 Seiten, 65 Bilder, 12 Tabellen. *

58 **Morselehrgang** (Werner W. Diefenbach). 7. Aufl., 68 Seiten, 20 Bilder.

59 **Funk-Entstörungs-Praxis** (Herbert G. Mende). 4. Aufl., 72 Seiten, 43 Bilder, 6 Tabellen.

60 **Die Widerstand-Kondensator-Schaltung.** Einführung in die RC-Schaltungstechnik (Reinhard Schneider). 6. Aufl., 68 S., 58 Bilder, 3 Tab. *

62/62a **Englisch für Radio-Praktiker** (Dipl.-Ing. W. Stellrecht und Dipl.-Ing. P. Miram). 3. Aufl., 112 Seiten.

66/67 **Sender-Baubuch für Kurzwellen-Amateure** II. Teil (Ing. H. F. Steinhauser). 5. Aufl., 128 Seiten, 52 Bilder.

68/70 **Formelsammlung für den Radio-Praktiker** (Dipl.-Ing. Georg Rose). 10. Aufl., 168 Seiten, 183 Bilder.

71 **Bastelpraxis** Band I. Allgemeine Arbeitspraxis (Werner W. Diefenbach). 7. Aufl., 64 Seiten, 50 Bilder, 2 Tabellen.

72/73 **Drahtlose Fernsteuerung von Flugmodellen** (Karl Schultheiss). 5. Aufl., 128 Seiten, 76 Bilder. *

* In Vorbereitung.

Fortsetzung auf der dritten Umschlagseite

Elektronische Schaltungen mit Fotozellen

Von

Dipl.-Ing. WILHELM HENNIG

Mit 112 Schaltbildern
und 6 Tabellen

2. Auflage

FRANZIS-VERLAG MÜNCHEN

G. Emil Mayer KG

Nr. 115/116 der RADIO-PRAKTIKER-BÜCHEREI

Cellu-Band

1968

Sämtliche Rechte – besonders das Übersetzungsrecht – an Text und Bildern vorbehalten. Fotomechanische Vervielfältigung nur mit Genehmigung des Verlages. Jeder Nachdruck, auch auszugsweise, und jede Wiedergabe der Bilder, auch in verändertem Zustand, sind verboten.

Druck: G. Franz'sche Buchdruckerei G. Emil Mayer, München 37, Karlstraße 35
Printed in Germany. Imprimé en Allemagne.

Vorwort

Diese Sammlung von Schaltungen mit fotoelektrischen Wandlern soll nicht so sehr ein Lehrbuch als ein Nachschlagewerk für den Praktiker sein. Es zeigt, wie Aufgaben der verschiedensten Art unter Anwendung von fotoelektrischen Bauelementen zweckmäßig gelöst werden können.

Neben den neuesten Entwicklungen auf diesem Sondergebiet der Elektronik wurden bewußt auch solche bewährten Schaltungen aufgenommen, die mit herkömmlichen Schaltelementen arbeiten, um das Verständnis für die Arbeitsweise und damit für die Wartung älterer Geräte zu erleichtern.

Zur Theorie und zu den physikalischen Grundlagen der fotoelektrischen Wandler wird auf das Buch Beitz-Hesselbach, Fotozellen und ihre Anwendung (Band 95/96 der Radio-Praktiker-Bücherei), verwiesen.

Den Firmen, die die Herausgabe dieser Sammlung durch Überlassen von Unterlagen unterstützt haben, sei auch an dieser Stelle gedankt.

W. Hennig

Inhalt

Einleitung 11

1 Helligkeitsgesteuerte Geräte 13

1.1 Beleuchtungsmesser 13

1.1.1 Empfindlicher Beleuchtungsmesser 13

1.1.2 Beleuchtungsmesser mit Temperaturkompensation .. 14

1.2 Anzeige von Helligkeitsunterschieden 15

1.2.1 Meßgerät für Helligkeitsschwankungen 15

1.2.2 Grenzwertschalter 16

1.2.3 Meßgerät für Helligkeitsunterschiede 18

1.2.4 Lichtelektrisches Auswahlgerät 19

1.3 Rauch- und Trübungsmelder 22

1.3.1 Trübungsanzeiger 22

1.3.2 Rauchmelder 24

1.3.3 Rauchdichtemelder 25

1.4 Flammenwächter 27

1.4.1 Flammenwächter mit Röhrenverstärker 27

1.4.2 Einfacher Flammenwächter 28

1.4.3 Flammenwächter mit Thyratron-Verstärker 29

1.4.4.1 Flammenwächter mit Kaltkatoden-Relaisröhre 30

1.4.4.2 Wächter für mehrere Flammen 31

1.4.5 Flammenwächter mit Transistoren 31

1.5 Beleuchtungs-Kontrolle 32

1.5.1 Beleuchtungsüberwachung 32

1.5.2 Stabilisierung einer Lichtquelle 33

1.5.3 Selbsttätige Beleuchtungsregelung 35

1.6 Dämmerungsschalter 37

1.6.1 Dämmerungsschalter mit Thermorelais 38

1.6.2 Dämmerungsschalter in Arbeitsstromschaltung 39

1.6.3 Dämmerungsschalter mit Kippschaltung 41

1.6.4 Dämmerungsschalter in Ruhestromschaltung 42

1.6.5 Dämmerungsschalter mit Transistoren 44

1.6.6 Transistor-Dämmerungsschalter mit Verzögerung 45

1.7 Lichtmengen-Schalter 46

1.7.1 Lichtmengen-Schaltgerät für Fotoarbeiten 46

2 Lichtrelais 49
2.1 *Verstärkerlose Lichtrelais* 49
2.1.1 Lichtrelais mit Störmeldung 49
2.1.2 Lichtrelais für direkten Netzanschluß 50
2.1.3 Lichtrelais mit Ansprech-Intervall 51
2.1.4 Folgerelais 52
2.1.5 Lichtrelais mit Abfallverzögerung 53
2.2 *Lichtrelais mit Elektronenröhren-Verstärkern* 54
2.2.1 Lichtrelais mit Einröhren-Verstärker 54
2.2.2 Lichtrelais mit Doppelröhren-Verstärker 55
2.2.3 Lichtrelais mit Impedanzwandler für abgesetzten Tastkopf 56
2.3 *Lichtrelais mit Thyratron-Schaltverstärkern* 57
2.3.1 Lichtrelais für Hellschaltung mit Fotowiderstand 58
2.3.2 Lichtrelais für Hellschaltung mit Fotozelle 59
2.3.3 Lichtrelais für Dunkelschaltung mit Fotozelle 60
2.3.4 Lichtrelais für Dunkelschaltung mit Gleichstrom-Steuerung 61
2.3.5 Lichtrelais für Hellschaltung mit Gleichstrom-Steuerung 62
2.3.6 Lichtrelais mit Vorverstärker 63
2.4 *Lichtrelais mit Kaltkatoden-Röhren* 65
2.4.1 Lichtrelais mit Hellschaltung 66
2.4.2 Lichtrelais mit Schaltintervall 67
2.4.2.1 Hellschaltung 68
2.4.2.2 Dunkelschaltung 68
2.4.3 Lichtrelais mit Schaltintervall mit Fotodiode 69
2.4.3.1 Hellschaltung 69
2.4.3.2 Dunkelschaltung 69
2.4.4 Lichtrelais mit elektronischer Intervallschaltung 70
2.4.4.1 Hellschaltung 71
2.4.4.2 Dunkelschaltung 71
2.4.5 Lichtrelais mit Schaltintervallerzeugung durch RC-Glied 71
2.4.6 Lichtrelais mit Schaltintervallerzeugung durch Schwingkreis 72
2.4.7 Lichtrelais mit einstellbarem Schaltintervall 73
2.4.8 Lichtrelais mit starker Abfallverzögerung 75

2.4.9 Lichtrelais mit Fotowiderstand kleiner Belastbarkeit 75
2.4.10 Vereinfachte Intervallschaltung 76
2.5 Lichtrelais mit Transistor-Verstärkern 77
2.5.1 Lichtrelais mit einstufigem Verstärker und Temperaturkompensation 77
2.5.2 Lichtrelais mit verbesserter Temperaturkompensation 78
2.5.3 Lichtrelais mit zweistufigem Verstärker 79
2.5.3.1 Hellschaltung 79
2.5.3.2 Dunkelschaltung 79
2.5.4 Lichtrelais mit Fototransistor 80
2.5.5 Lichtrelais für großen Temperaturbereich 81
2.5.6 Lichtrelais mit 6 W Schaltleistung 82
2.5.6.1 Hellschaltung 82
2.5.6.2 mit Fotoelement 83
2.5.7 Lichtrelais mit 20 W Schaltleistung 84
2.6 Lichtrelais mit Kippschaltungen 85
2.6.1 Lichtrelais mit Fototransistor und Trigger 85
2.6.1.1 Hellschaltung 85
2.6.1.2 Dunkelschaltung 86
2.6.2 Lichtrelais mit Trigger und Schaltverstärker 87
2.6.3 Lichtrelais mit Trigger und zweistufigem Schaltverstärker 88
2.6.3.1 Hellschaltung 88
2.6.3.2 Dunkelschaltung 88
2.6.4 Lichtrelais mit Trigger und Vorverstärker 89
2.6.5.1 Lichtrelais mit Kaltkatodenröhren in Flipflop-Schaltung 90
2.6.5.2 Lichtrelais mit Kaltkatodenröhren in Flipflop-Schaltung 91
2.7 Lichtrelais mit Wechselstrom-Verstärkern 92
2.7.1 Lichtrelais für Pulsbetrieb 93
2.7.2 Hochempfindliches Lichtrelais 94
2.7.3 Lichtrelais mit elektronischem Zerhacker 96
2.7.4 Lichtrelais mit Resonanzverstärker..... 98
2.8 Auslöser für Blitzlichtgeräte 99
2.8.1 Blitzauslöser mit Relais 100
2.8.2 Elektronischer Blitzauslöser 101
2.8.3 Einfacher elektronischer Blitzauslöser 101

3 Lichtstrahlgesteuerte Geräte 102
3.1 Alarmgeräte 102
3.1.1 Alarmanlage 102
3.1.2 Lichtalarmgerät 103
3.2 Lichtgesteuerte Generatoren 104
3.2.1 Fotoelektrisch gesteuerter Tongenerator 104
3.2.2 Helligkeitsgesteuerter Generator 105
3.2.3 Gesteuerter Multivibrator 106
3.2.4 Lichtgeschalteter Multivibrator 106
3.3 Türöffner 107
3.3.1 Einfacher Türöffner 107
3.3.2 Türöffner mit Richtungsbestimmung 109
3.4 Lichtelektrische Zähler 111
3.4.1 Elektronischer Zähler 111
3.4.2 Zählgerät mit bistabiler Kippschaltung 113
3.4.3 Richtungszähler 114
3.5 Geschwindigkeitsmessungen 116
3.5.1 Messung von Kamera-Verschlußzeiten 116
3.5.2 Schlupf-Frequenz-Messung 117
3.5.3 Geschwindigkeits-Prüfgerät 118
3.6 Frequenzmessungen 121
3.6.1 Drehzahlzeiger 121
3.6.2 Frequenzmesser 122

4 Steuer- und Regelschaltungen 124
4.1 Überwachungs- und Sortiergeräte 124
4.1.1 Vielstellen-Überwachung 124
4.1.2 Koinzidenzschaltung 125
4.1.3 Sortiergerät 127
4.1.4 Längentoleranz-Messung 128
4.2 Richtungsabhängige Steuerungen 131
4.2.1 Anzeige von Helligkeitsänderungen 131
4.2.2 Richtungsabhängige Steuerung 132
4.3 Regelgeräte für Maschinen 133
4.3.1 Kupplungs-Steuerung 133
4.3.2 Geschwindigkeits-Regelung 135
4.3.3 Lagesteuerung 137
4.3.4 Zweiseitige Kantensteuerung 139
4.3.5 Schreiber mit Nachlaufsteuerung 140

5 Verschiedene Schaltungen 142
5.1 Rufanlage, Widerstandstransformation u. a. 142
5.1.1 Rufanlage 142
5.1.2 Widerstandstransformation mit Fotowiderstand 143
5.1.3 Stabilisierung einer Wechselspannung 144
5.2 Tonbandgeräte-Hilfseinrichtung 145
5.2.1 Stoppeinrichtung 145
5.3 Tonfilmgeräte 146
5.3.1 Lichtton-Abtaster 146
5.3.2 Tonfilm-Vorverstärker 147
5.3.3 Tonfilmverstärker mit 12 W Ausgangsleistung 148
5.4 Steuerungen an Rundfunkempfängern 148
5.4.1 Dynamik-Regelung 148
5.4.2 Fernbedienung einer Lautstärkeeinstellung 150
5.4.3.1 und .2 Lautstärkesteuerung bei Transistorverstärkern 151
Quellenhinweise 152
Tabellen 153
Sachregister 159

Einleitung

Alle Schaltungen dieser Sammlung sind praktisch erprobt. Dennoch wird ein erfolgreicher Nachbau nur dem gelingen, der sich mit den Zusammenhängen vertraut macht. Das gilt besonders dann, wenn andere Bauelemente verwendet werden.

Die Schaltungen sind nach der Arbeitsweise geordnet, weil sich die verschiedenartigsten Aufgaben mit dem gleichen Aufbau lösen lassen. Der Verwendungszweck ist nur dort herausgestellt, wo er besondere Schaltmaßnahmen bedingt.

Die Schaltbilder sind bewußt auf das wesentliche beschränkt. Netzschalter, Sicherungen, Signallampen und dgl. wurden weitgehend weggelassen, obwohl sie bei der praktischen Ausführung von Geräten nicht fehlen dürfen. Netzanschlußteile sind nur dargestellt, wenn sie Besonderheiten enthalten, die für die Wirkungsweise von Bedeutung sind. Im allgemeinen sind stabile Spannungen Voraussetzung für einwandfreies Arbeiten fotoelektronischer Geräte. Die Stromquellen für Transistoren müssen einen niedrigen Innenwiderstand haben und Strom geringer Welligkeit liefern.

Da sich die Kontaktbestückung von Relais nach dem Verwendungszweck richtet, ist sie gewöhnlich nicht dargestellt. Die Angaben für die Widerstandswerte bei den Relais schließen einen etwaigen Vorwiderstand ein, auch wenn ein solcher nicht besonders angegeben ist. Die Relaiswicklung ist entsprechend der Steuerleistung und den benötigten Ankerkräften zu bemessen.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß Schaltungen, die Schutzrechten unterliegen, ohne Zustimmung des Schutzrechtinhabers nicht gewerblich verwertet werden dürfen.

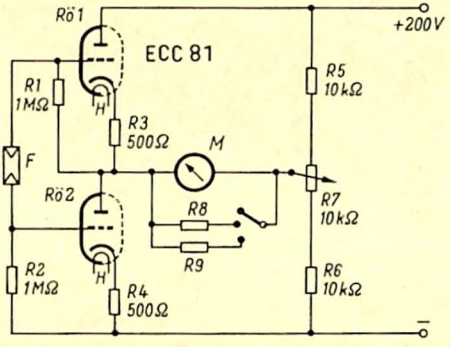
1 Helligkeitgesteuerte Geräte

1.1 Beleuchtungsmesser

Einfache Beleuchtungsmesser, wie sie zur Prüfung der Helligkeit an Arbeitsplätzen oder in der Fotografie als Belichtungsmesser verwendet werden, bestehen aus einem Fotoelement und einem Mikroamperemeter, das nach der Beleuchtungsstärke und entsprechend dem Verwendungszweck geeicht ist. Diese Geräte sind zwar besonders einfach, doch sind ihre Empfindlichkeit und Genauigkeit begrenzt. Bei höheren Anforderungen an die Ansprechgrenze und die Wiederholbarkeit und Richtigkeit der Anzeige sind erweiterte Meßanordnungen erforderlich, wie sie in den folgenden Schaltungen gezeigt werden.

1.1.1 Empfindlicher Beleuchtungsmesser

Zur Messung geringer Beleuchtungsstärken eignet sich eine Brückenschaltung, deren veränderlicher Zweig aus zwei in Reihe geschalteten Röhren besteht, die durch einen Fotowiderstand F gesteuert werden. Brückengleichgewicht wird bei völliger Abdunkelung des Fotowiderstandes am anderen Brückenzweig mit dem Spannungsteiler R 7 eingestellt. Dabei wird zunächst mit dem Bereich geringster Empfindlichkeit begonnen. Verschiedene Meßbereiche ergeben sich durch Zuschalten von Nebenwiderständen R 8, R 9 zum Meßinstrument.



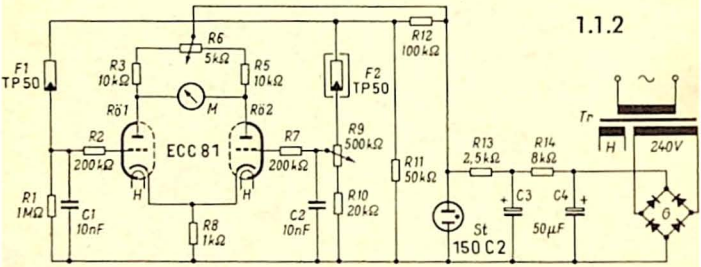
1.1.1

Die Anodenspannung soll gut gesiebt und nach Möglichkeit stabilisiert sein, damit die erreichbare hohe Empfindlichkeit des Gerätes voll ausgenutzt werden kann.

1.1.2 *Beleuchtungsmesser mit Temperaturkompensation*

Diese Schaltung ist dank besonderer Stabilisierungs- und Kompensationsmaßnahmen geeignet, niedrige Beleuchtungswerte und kleine Helligkeitsänderungen zu messen.

Meßteil und Anzeigeteil sind als Brücken aufgebaut. Die Fotodioden F 1 und F 2 sind in Sperrichtung gepolt und wirken als Fotowiderstände. Sie bilden mit den Widerständen R 1 und R 9 + R 10 eine Meßbrücke. Diese wird über den Spannungsteiler R 11/R 12 aus der mit dem Glimmstabilisator St stabilisierten Spannung gespeist. F 2 ist lichtdicht gekapselt und möglichst dicht mit F 1 zusammengebaut. Auf diese Weise sind beide Fotowiderstände derselben Temperatur ausgesetzt. Erwärmungseinflüsse werden in beiden Brückenzweigen gleich wirksam und heben sich auf.



Die Brückenspannung der Meßbrücke wird mit dem Anzeigeteil gemessen, in dem die beiden Röhrensysteme und die Anodenwiderstände R 3 und R 5 die Brückenzweige bilden. Mit dem Widerstand R 6 wird im Ruhezustand das Brückengleichgewicht eingestellt. Mit dem Widerstand R 9 wird Nullspannung der Meßbrücke für diejenige Beleuchtungsstärke eingestellt, die als Bezug für die Messungen dienen soll. Das ist entweder völlige Dunkelheit oder die Beleuchtungsstärke, gegen die Abweichungen gemessen werden sollen.

Wird ein Meßinstrument mit Nullpunkt in der Mitte verwendet, so werden Beleuchtungsänderungen nach ihrer Größe und Richtung angezeigt.

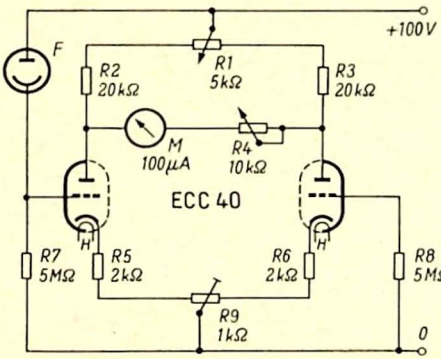
Durch die Symmetrie der Schaltung in praktisch allen Teilen wird erreicht, daß sich alle Änderungen der Betriebsspannungen beiderseits der Brücken gleich auswirken und sich somit in ihrer Wirkung aufheben. Bei Verwendung einer Doppeltriode kann angenommen werden, daß sich die Röhreneigenschaften beider Systeme, sei es durch Alterung oder sei es durch Verschiebung der Betriebsdaten, in gleicher Weise und in gleichem Maße ändern. Auch kann man voraussetzen, daß die Temperaturabhängigkeit zweier gleichartiger Fotowiderstände gleich ist.

1.2 Anzeige von Helligkeitsunterschieden

1.2.1 Meßgerät für Helligkeitsschwankungen

Langsam verlaufende Änderungen der Helligkeit werden mit diesem sehr ansprechempfindlichen Gerät gemessen.

Im Prinzip wird ein Röhrenvoltmeter in der bekannten Brükkenschaltung zum Anzeigen des Fotostromes bzw. seiner Änderungen verwendet. Die beiden Systeme einer Doppeltriode und ihre Anodenwiderstände R 2 und R 3 bilden die Brückenzweige. Ohne die Fotozelle F und bei Mittelstellung des Widerstandes R 1 wird zunächst Gleichgewicht der Brücke, also Mittelstellung des Meßinstrumentes, mit dem Widerstand R 9 eingestellt, der hiernach unverändert bleibt. Danach wird die Fotozelle einge-



1.2.1

schaltet und bei der mittleren Beleuchtungsstärke mit dem Widerstand R 1 wieder Brückengleichgewicht hergestellt.

Änderungen der Beleuchtung rufen am Gitterwiderstand R 7 eine Änderung der Steuerspannung hervor. Dadurch ändert sich der Anodenstrom des ersten Röhrensystems, so daß sich das Brückengleichgewicht verschiebt und das Instrument nach der einen oder anderen Seite ausschlägt, je nachdem ob die Beleuchtungsstärke gestiegen oder gefallen ist.

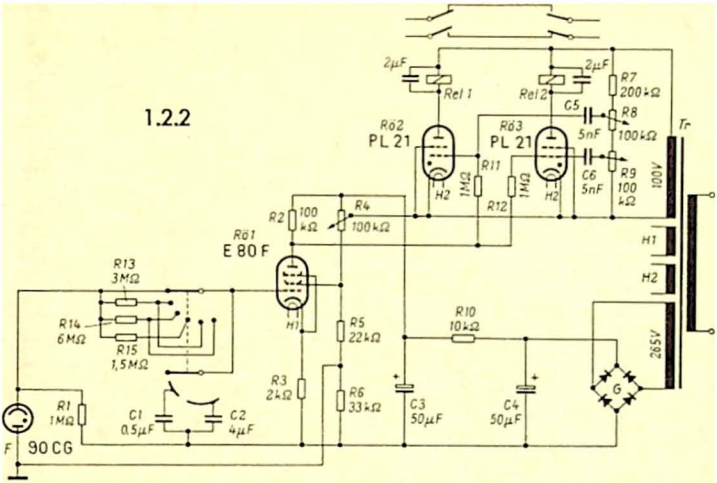
Schwankungen der Betriebsspannung wirken sich im wesentlichen nur an der Fotozelle aus; in der Brückenschaltung kompensieren sie sich weitgehend. Das Gerät nach dieser Schaltung ist imstande, Helligkeitsänderungen von 1 % und darunter anzuzeigen. Die Empfindlichkeit läßt sich durch Vergrößern der Gitterwiderstände R 7 und R 8 noch steigern. Höhere Werte als 10 MΩ sind jedoch bei normalen Röhren nicht ratsam, weil die Größenordnung der Isolationswiderstände und der Gitterströme erreicht ist. Mit speziellen Elektrometer-Röhren und Gitterwiderständen bis zu 1000 MΩ kann eine mehrhundertfache Empfindlichkeit erreicht werden.

1.2.2 *Grenzwertschalter*

Geräte nach dieser Schaltung können dazu dienen, Schalt- und Steuervorgänge auszulösen, wenn die Helligkeit der Fotozellenbeleuchtung nach oben oder unten vom Sollwert abweicht. Dabei lassen sich die Toleranzbereiche getrennt einstellen.

Die Fotozelle F steuert das Gitter der Verstärkerröhre Rö 1. Im Gitterkreis liegt ein umschaltbares Zeitglied aus den Widerständen R 13 bis R 15 und den Kondensatoren C 1 und C 2. Seine Zeitkonstante ist in sechs Stufen zwischen 0 und 24 Sekunden einstellbar. Es kann damit verhindert werden, daß die Schaltstufe bei kurzzeitigen Schwankungen der Beleuchtung anspricht.

In der Schaltstufe werden die beiden Thyratrone Rö 2 und Rö 3 mit Wechselstrom betrieben. Sie arbeiten also praktisch nur in der Halbwelle der Netzspannung, bei der die Anoden positiv sind. Auf diesen Zustand beziehen sich die folgenden Betrachtungen. Die Steuerspannung für die Thyratrone wird von der Verstärkerstufe an der Anode der Röhre Rö 1 abgenommen und über die Widerstände R 11 und R 12 den Steuergittern von Rö 2



und Rö 3 zugeführt. Diese erhalten zugleich über die Kondensatoren C 5 und C 6 unterschiedliche Wechselspannungen, die an den Spannungsteilerwiderständen R 8 und R 9 abgegriffen werden. Mit ihnen werden die Toleranzbereiche der Schaltung so abgeglichen, daß im Ruhezustand, also beim Sollwert der Beleuchtungsstärke, das Thyratron Rö 2 gesperrt und Rö 3 gezündet ist. Dann ist der Anker des Relais Rel 2 angezogen. Die Grundvorspannung wird mit Hilfe des Spannungsteilers R 4 eingestellt.

Steigt die Beleuchtungsstärke, so sinkt die Spannung an der Anode der Verstärkerröhre Rö 1 und damit die an den Gittern der Thyratrone. Unterschreitet die zwischen Katode und Gitter von Rö 3 liegende Gesamtspannung die Zündspannung, so löscht auch dieses Thyratron und der Anker des Relais Rel 2 fällt ab. Nimmt jedoch die Beleuchtungsstärke ab, so führt steigende Gitterspannung dazu, daß auch das Thyratron Rö 2 zündet und das Relais Rel 1 ebenfalls anzieht.

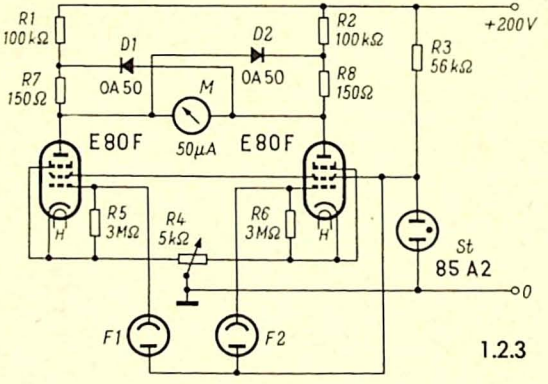
Die je zwei Arbeits- und Ruhekontakte der beiden Relais sind paarweise so hintereinandergeschaltet, daß beim Unterschreiten des unteren Grenzwertes der Beleuchtung der eine angeschlos-

sene Stromkreis, beim Überschreiten des oberen Grenzwertes der andere Stromkreis geschlossen ist. Innerhalb des Toleranzbereiches sind beide Arbeitsstromkreise offen. Damit können Regelvorgänge gesteuert werden, welche die Beleuchtungsstärke auf einen Sollwert zurückführen. So ist es z. B. naheliegend, die Helligkeit einer Raumbeleuchtung durch Zu- und Abschalten von Lampengruppen innerhalb eines Sollbereiches zu halten. Es können aber auch völlig andersartige physikalische Größen innerhalb vorgegebener Grenzen geregelt werden, wenn aus diesen Größen in irgendeiner Weise entsprechende Helligkeitswerte abgeleitet werden können. Ein einfaches Beispiel dafür ist ein Meßinstrument, dessen Zeiger eine Lichtblende verändert.

1.2.3 *Meßgerät für Helligkeitsunterschiede*

Ein Gerät nach dieser Schaltung ist geeignet, die Helligkeit oder Farbdichte, z. B. von Papier, Stoffen und dergleichen, mit einem Musterstück zu vergleichen. Es zeigt die Abweichungen durch einen Zeigerausschlag an.

Die beiden Fotozellen F 1 und F 2 müssen in Empfindlichkeit, Charakteristik und Spektralbereich möglichst weitgehend übereinstimmen. Sie sind nötigenfalls darauf auszusuchen. Das geschieht am einfachsten in der Betriebsschaltung durch Austausch mehrerer Exemplare gegeneinander.



1.2.3

Die beiden Röhren bilden zusammen mit ihren Anodenwiderständen eine Brückenschaltung, in deren Brücke das Anzeigeinstrument liegt. Es wird gegen Überlastung infolge starker Unsymmetrien der Brücke durch die zwei vorgespannten Dioden D 1 und D 2 geschützt. Diese erhalten ihre Vorspannung vom Spannungsabfall an den Widerständen R 7 und R 8.

An den Gitterwiderständen R 5 und R 6 erzeugt der Fotostrom der Fotozellen den Spannungsabfall, der die Röhren steuert. Beide Zellen erhalten Licht von derselben Lichtquelle, die eine das von dem Muster, die andere das vom Prüfling reflektierte. Helligkeitsschwankungen der Lampe haben also keinen Einfluß auf die Messung. Zum Abgleich der Brücke wird je ein gleichartiges Teil unter beide Fotozellen gelegt und mit dem Widerstand R 4 Brückengleichgewicht, also Nullstellung des Instrumentes, eingestellt. Wenn dann die beiden Reflexionsflächen getauscht werden, muß das Brückengleichgewicht erhalten bleiben. Im Betrieb zeigt das Meßinstrument durch Ausschlag nach links oder rechts Abweichungen des Reflexionsvermögens des Prüflings gegenüber dem Muster an.

Schwankungen der Betriebsspannung gehen in beiden Brückenzweigen gleich in die Messung ein, so daß sie praktisch ohne Wirkung bleiben. Trotzdem werden die Schirmgitterspannung und die Saugspannung der Fotozellen mit dem Glimmstabilisator St stabilisiert. Die Anodenspannung soll gut gesiebt sein.

Bei der angegebenen Dimensionierung und Verwendung der Fotozelle 90 CV ergibt ein Unterschied in der Beleuchtungsstärke von $2{,}5 \cdot 10^{-5}$ Lumen Vollausschlag an einem 50-µA-Instrument. Ein Bruchteil hiervon ist demnach noch gut abzulesen. Der Typ der Fotozellen wird nach dem zu erfassenden Spektralbereich gewählt.

1.2.4 Lichtelektrisches Auswahlgerät

Naturprodukte wie Holz und Leder weichen nicht nur von Stück zu Stück in ihren Farbtönungen und in ihrer Helligkeit voneinander ab. Auch innerhalb der einzelnen Stücke finden sich verlaufende leichte Farb- und Tönungsunterschiede, die den Wert nicht mindern und kein Anlaß zum Ausscheiden sind. Ein Sortieren nach einem Muster ist also nicht möglich. Es können

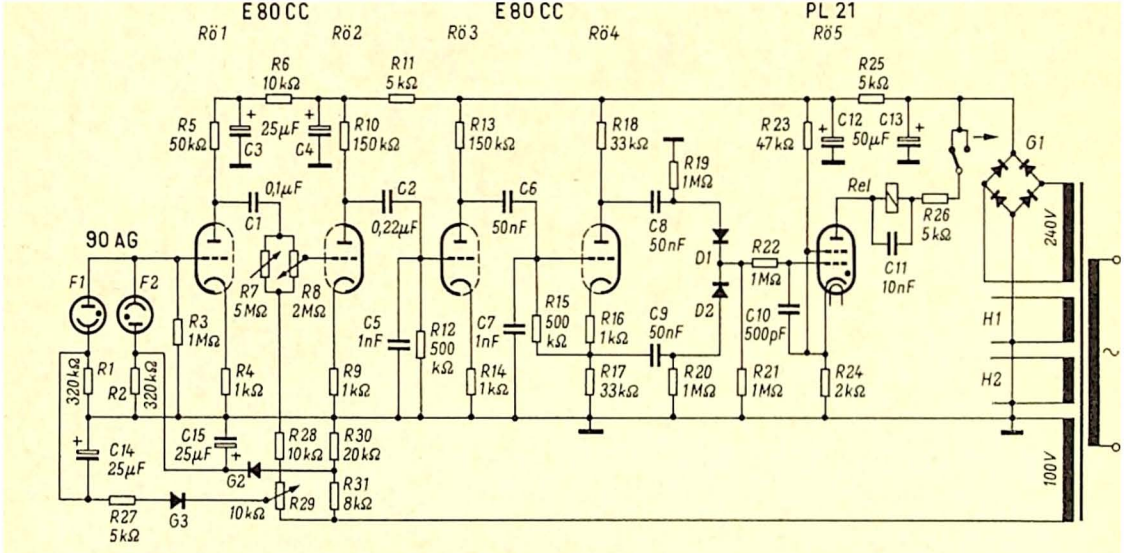
jedoch zwei nebeneinanderliegende Streifen eines zu prüfenden Stückes abgetastet und in ihrer Helligkeit verglichen werden. Fehlerstellen, wie Flecke und Löcher, ändern dann sprunghaft die Beleuchtung der Fotozellen. Die Differenz der Fotoströme ergibt das Steuersignal.

Die Prüflinge werden auf einem Transportband unter einer Abtastvorrichtung durchgeführt, die aus zwei Fotozellen besteht, die quer zur Laufrichtung nebeneinander angeordnet und durch Wände getrennt sind. Beide erhalten von der zu prüfenden Fläche reflektiertes Licht von derselben Lichtquelle. Soll nur auf Löcher oder durchscheinende Stellen geprüft werden, wird von der Unterseite her beleuchtet.

Die beiden Fotozellen F 1 und F 2 bilden zusammen mit den Widerständen R 1 und R 2 eine Brückenschaltung, deren Brückenspannung das Gitter des ersten Röhrensystems Rö 1 steuert. Der Abgleich der Brücke wird auf etwas ungewöhnliche Weise durch Verschieben der Speisespannung mittels des Spannungsteilers R 29 vorgenommen.

Läuft im Betrieb des Auswahlgerätes unter einer der Fotozellen, gleichgültig welcher, eine Fehlerstelle mit auffälligem Helligkeitsunterschied gegenüber dem Teil unter der anderen Zelle durch, so entsteht zu Beginn und am Ende des Durchlaufs ein Spannungssprung am Gitter der Verstärkerröhre Rö 1. Dieser wird nach der Verstärkung durch das RC-Glied C 1/R 7, R 8 differentiiert, so daß das Gitter der folgenden Röhre Rö 2 mit steilen Impulsen gesteuert wird. Die Zeitkonstante des RC-Gliedes kann mit dem Widerstand R 7 eingestellt werden. Die Impulse werden, gleichgültig ob sie positiv oder negativ sind, in den Röhrensystemen Rö 3 und Rö 4 weiter verstärkt und geformt. An der Röhre Rö 4 werden sie über die Dioden D 1 und D 2 sowohl an der Anode wie an der Katode entnommen, wobei die Dioden dafür sorgen, daß jeweils positive Impulse an die Schaltstufe gelangen. Somit wirkt die Anordnung stets in gleicher Weise, unabhängig davon, auf welcher der Abtastspuren der Fehler aufgetreten ist und in welcher Richtung der Helligkeitssprung gegangen ist.

Die positiven Impulse tasten das Gitter des Thyratrons Rö 5 auf, wodurch dieses zündet und das Relais Rel anzieht. Da das


E80CC
E80CC
PL 21
Rö1
Rö2
Rö3
Rö4
Rö5
90 AG
F1
F2
R1 320kΩ
R2 320kΩ
R3 1MΩ
R4 1kΩ
R5 50kΩ
R6 10kΩ
R7 5MΩ
R8 2MΩ
R9 1kΩ
R10 150kΩ
R11 5kΩ
R12 500 kΩ
R13 150kΩ
R14 1kΩ
R15 500 kΩ
R16 1kΩ
R17 33kΩ
R18 33kΩ
R19 1MΩ
R20 1MΩ
R21 1MΩ
R22 1MΩ
R23 47kΩ
R24 2kΩ
R25 5kΩ
R26 5kΩ
R27 5kΩ
R28 10kΩ
R29 10kΩ
R30 20kΩ
R31 8kΩ
C1 0,1µF
C2 0,22µF
C3 25µF
C4 25µF
C5 1nF
C6 50nF
C7 1nF
C8 50nF
C9 50nF
C10 500pF
C11 10nF
C12 50µF
C13
C14 25µF
C15 25µF
D1
D2
G1
G2
G3
Rel
H1
H2
240V
100V

1.2.4

Thyratron mit Gleichspannung betrieben wird, löscht es nicht wieder, wenn der Tastimpuls zu Ende ist. Das Relais bleibt also angezogen, bis der Anodenstrom durch den Kurzausschalter unterbrochen wird.

Das Relais löst die Folgefunktionen aus, die sich nach Aufgabe und Verwendungszweck des Gerätes richten. Im einfachsten Falle wird ein Alarmsignal gegeben oder die Transporteinrichtung stillgesetzt. Die Fehlerstellen können auf dem Prüfstück selbsttätig markiert werden. Das Relais kann auch eine Weiche am Transportband steuern, die fehlerhafte Stücke ausscheidet. Beim automatischen Betrieb wird der Kurzunterbrecher durch die Weiche oder dgl. betätigt.

Die Empfindlichkeit der Anlage, die sich mit dem Glied R 8 einstellen läßt, ist sehr hoch. Die Auswahl versagt nur dann, wenn zwei gleich große und in der Laufrichtung völlig gleichzeitig beginnende und endende Fehler auftreten, was außerordentlich selten sein dürfte.

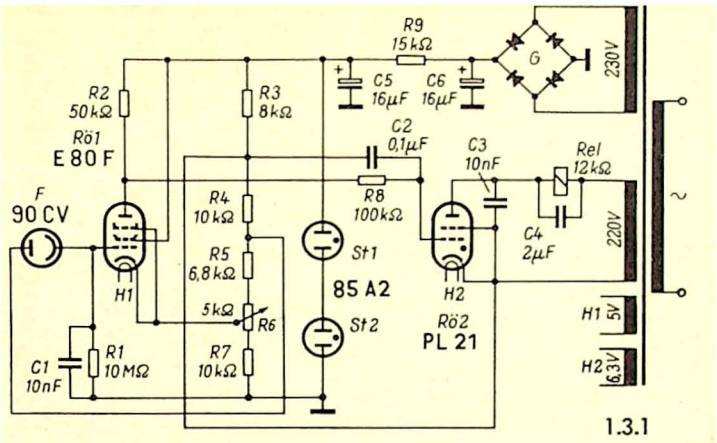
1.3 Rauch- und Trübungsmelder

1.3.1 Trübungsanzeiger

Das Relais dieses Gerätes spricht an, wenn die Beleuchtung der Fotozelle verringert wird. Diese Schaltung eignet sich also zur Anzeige von Rauch und Staub, der Trübung von Flüssigkeiten, der Verunreinigung von Glasbehältern und ähnlichem.

Als Verstärkerröhre wird eine E 80 F verwendet, die mit erniedrigter Heizspannung betrieben wird. Durch diese Maßnahme wird der Eingangswiderstand der Röhre stark erhöht, so daß sie einen Gitterwiderstand von 10 MΩ erhalten kann. Auf diese Weise wird die Empfindlichkeit der Schaltung sehr hoch, da kleine Änderungen des Fotostromes verhältnismäßig große Gitterspannungsänderungen ergeben.

Bei normaler Beleuchtung der Fotozelle F wird die Katodenspannung der Röhre 1 mit dem Spannungsteiler-Widerstand R 6 so eingestellt, daß ein Anodenstrom von 1 mA fließt. Dann beträgt der Spannungsabfall am Anodenwiderstand R 2 etwa 50 V. Das Gitter des Thyratrons Rö 2 ist dadurch soweit negativ gegenüber seiner Katode, die an den Spannungsteiler R 3...7 angeschlossen ist, daß das Thyratron noch nicht zünden kann.



1.3.1

Es bleibt dafür eine Spanne von 14 V, was einer Beleuchtungsabnahme von rund 5 % entspricht. Dieser Ansprechwert kann durch Ändern des Anodenstromes der Röhre Rö 1 mit dem Widerstand R 6 noch weiter eingeengt werden, doch ist dem eine Grenze gesetzt durch Unstabilitäten der Bauelemente, Schwankungen der Betriebsspannungen und ähnliches.

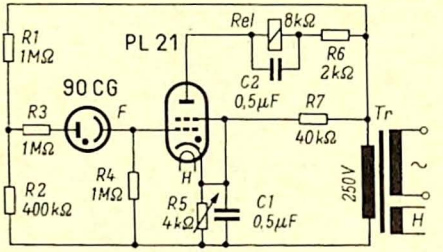
Die Kondensatoren C 1 und C 2 an den Gittern der Röhren wirken als Pufferglieder und verhindern, daß das Gerät auf kurze Störimpulse anspricht. Besonders C 1 muß einen hohen und gleichbleibenden Isolationswiderstand haben, damit der hochohmige Eingangswert der Röhre nicht verändert wird. Die für ein Gerät dieser Art erforderliche Stabilität kann überhaupt nur mit einwandfreien Einzelteilen erzielt werden. Die elektrischen Werte der Schaltelemente dürfen weder durch Erwärmung noch durch Alterung den Arbeitspunkt verschieben. Deshalb werden auch eine Vakuum-Fotozelle und eine Langlebensdauer-Röhre als Verstärker verwendet. Die Anodenspannung wird durch die zwei hintereinandergeschalteten Glimmstabilisatoren St 1 und St 2 konstant gehalten.

Wichtig ist, daß sich die Helligkeit der Lichtquelle nicht verändert; es müssen wenigstens entweder der Strom oder die

Betriebsspannung der Glühlampe stabilisiert sein. Durch Betrieb mit Unterspannung wird die Lebensdauer von Glühlampen erheblich verlängert und die Schwärzung des Glaskolbens hinausgezogen. Daß sich bei der niedrigeren Temperatur des Glühfadens das abgestrahlte Spektrum mehr nach rot verschiebt, ist praktisch ohne Bedeutung, da die höchste Empfindlichkeit der Fotozelle in diesem Bereich liegt.

1.3.2 *Rauchmelder*

Das Relais fällt ab und schließt einen Ruhekontakt, wenn sich die Beleuchtung der Fotozelle vermindert, beispielsweise durch Rauch im Bereich des Lichtstrahles.



1.3.2

Das Gerät wird ausschließlich mit Wechselstrom betrieben. Die Wirkungsweise ist leicht zu verstehen, wenn man sich den Zustand der wirksamen Halbwelle vorstellt, also positive Spannung am oberen Ende der Transformatorwicklung. Durch den Spannungsteiler aus den Widerständen R 5 und R 7 ist die Spannung der Katode und des zweiten Gitters des Thyratrons gegenüber dem Gitterbezugspunkt etwas positiv, so daß dieses nicht zündet, solange die Fotozelle nicht beleuchtet ist. Die mit ihrer Katode am Gitter der Röhre liegende Fotozelle F erhält eine Vorspannung vom Spannungsteiler R 1/R 2. Wird sie beleuchtet, so fließt ein Fotostrom, der am Gitterwiderstand R 4 einen am Gitter positiven Spannungsabfall erzeugt. Dadurch wird das Thyratron gezündet, das Relais bekommt Strom und zieht an.

Die Katodenspannung wird mit dem Widerstand R 5 so eingestellt, daß eine leichte Abdunklung der Fotozelle im beabsichtig-

ten Maße zum Löschen des Thyratrons, Abfallen des Relais und Schließen des Ruhekontaktes führt.

Diese Anordnung hat den Vorteil, daß ein Ausfall des Gerätes signalisiert werden kann, ebenso auch ein Ausbleiben der Netzspannung. In diesem Falle müßte allerdings die vom Ruhekontakt betätigte Alarmanlage eine eigene Stromquelle haben oder mechanisch betätigt werden.

Damit die Anlage empfindlich eingestellt werden kann, muß dafür gesorgt werden, daß keine Helligkeitsschwankungen der Lichtquelle eintreten können. Dazu wird meist eine Stabilisierung des Lampenstromes oder der Spannung nicht zu umgehen sein. Eine einfache Möglichkeit, den Lichtstrom konstant zu halten, ist im Abschnitt 1.5.2 beschrieben.

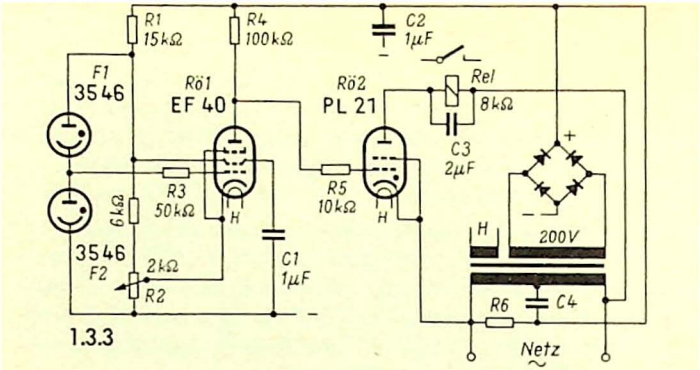
Dieses Gerät ist geeignet, jegliche Art von Trübung im Lichtweg zu melden, sei es Rauch, Staub, Verunreinigungen oder Verfärbungen in Flüssigkeiten und ähnliches mehr. Als Rauchmelder z. B. ist es sowohl zur Feuerungsüberwachung als auch als Teil eines Feuermelders brauchbar.

Die Speisung mit Wechselstrom vereinfacht Betrieb und Aufbau des Gerätes, erspart Gleichrichter und Siebmittel und führt durch alles dies zu Zuverlässigkeit und Robustheit. Durch den Ruhestrombetrieb mit Alarmgabe ist ein weiterer Beitrag zur Betriebssicherheit gegeben.

1.3.3 Rauchdichtemelder

Die Schaltung dieses Gerätes ist so ausgelegt, daß bei kleiner Abschattung einer der Fotozellen das Relais anzieht.

Die beiden Fotozellen gleichen Typs F 1 und F 2 sind so angeordnet, daß sie von derselben Lichtquelle beleuchtet werden, der Strahlengang von F 2 aber ein unveränderliches Medium enthält, während im Strahlengang von F 1 der zu überwachende Raum liegt, also beispielsweise eine Abgasführung. Die Fotozellen liegen in einer Brückenschaltung, die so lange im Gleichgewicht ist, wie beide Zellen gleich stark beleuchtet sind. In diesem Zustand wird die Katodenspannung der Röhre Rö 1 gerade so weit positiv gegenüber dem Gitter gemacht – mittels des Widerstandes R 2 –, daß das nachfolgende Thyratron Rö 2 noch nicht zündet.



Wird die Beleuchtung der Fotozelle F 1 infolge Rauchentwicklung schwächer, steigt ihr Innenwiderstand, und die Röhre Rö 1 erhält eine niedrigere Gitterspannung. Ihr Anodenstrom sinkt, die Spannung an der Anode steigt, also auch die am Gitter des Thyratrons. Dieses zündet und das Relais Rel zieht an.

Um einen sicheren Einsatz der Zündung auch dann zu gewährleisten, wenn die Änderung der Steuerspannung nur gering ist, erhält das Thyratron eine zusätzliche, gegenüber der Anodenspannung um fast 90° vorauseilende Spannung, die von dem Phasenschieberglied C 4/R 6 erzeugt und über die Widerstände R 4 und R 5 dem 1. Gitter zugeführt wird.

Die Verwendung einer Vergleichsschaltung mit zwei Fotozellen hat den Vorteil, daß Helligkeitsschwankungen oder -änderungen der Lichtquelle keinen Einfluß auf die Wirksamkeit der Anlage haben. Auch Spannungsänderungen bleiben in weiten Grenzen ohne störende Folgen.

Das Gerät kann in dieser Schaltung nicht nur als Rauchmelder, sei es zum Feuerschutz oder zur Überwachung von Abgasen, verwendet werden, sondern auch als Trübungsanzeiger, etwa in der Abwasser-Überwachung, beim Ansetzen von Lösungen und Aufschwemmungen, und vielem anderen mehr. Seine Ansprechempfindlichkeit kann recht hoch getrieben werden. Dazu ist allerdings erforderlich, daß Fremdlicht peinlich abgeschirmt ist, Wärmestrahlung auf die Fotozellen vermieden wird und Verunreinigungen, z. B. durch Rußteilchen, ausgemerzt werden.

1.4 Flammenwächter

Flammenwächter werden in unbedienten Öl- und Gasfeuerungs-Anlagen benötigt. Sie sperren bei Verlöschen der Flamme die Brennstoffzufuhr und geben ein Warnsignal. Zweckmäßigerweise sind diese Geräte so geschaltet, daß sie eigensicher sind, also auch bei anderen Störungen, wie Defekt des Gerätes selbst, Unterbrechung der Zuleitungen und Netzspannungsausfall, Alarm auslösen. Die Flammenwächter sind meist Teil der Feuerungsautomaten und manchmal mit Rauchmeldern kombiniert.

Es ist zweckmäßig, blau- und ultraviolettempfindliche Fotozellen zu verwenden und die Infrarot- und Rotstrahlen möglichst weitgehend auszufiltern, damit der Flammenwächter nicht auf die Strahlung nachglühender Wände der Brennkammer anspricht. Die Flamme hat eine erhebliche Ultraviolett-Strahlung, die es ermöglicht, sie von den rot- und wärmestrahlenden Wänden zu unterscheiden.

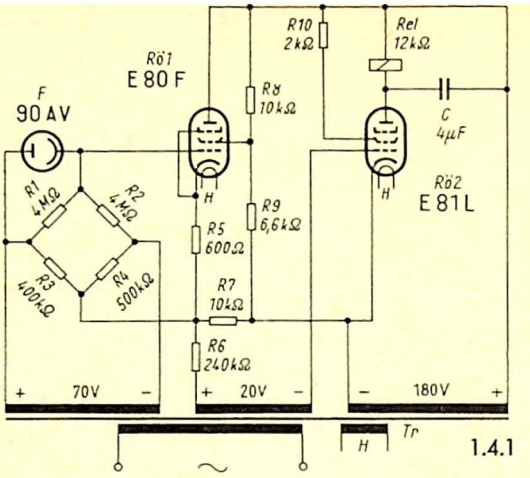
Auch andere Schaltungen als die hier beschriebenen, wie z. B. die Lichtrelais nach den Schaltungen 2.2.2, 2.3.1 und 2.4.1, sind als Flammenwächter verwendbar.

1.4.1 Flammenwächter mit Röhrenverstärker

Dieser empfindliche Flammenwächter ist für Ruhestrombetrieb ausgelegt, wodurch u. a. die gewünschte Eigensicherheit erreicht wird. Die Speisung mit Wechselstrom unter Verzicht auf Gleichrichter und Siebmittel erhöht die Betriebssicherheit.

Die Widerstände R 1 bis R 4 bilden eine Brücke, die aus der 70-V-Wicklung des Netztransformators Tr gespeist wird. Die Fotozelle F ist einem der Brückenzweige parallelgeschaltet. Bei Beleuchtung verschiebt sich das Brückengleichgewicht. Die Brücke ist so bemessen, daß im Dunkelzustand am Gitter der Röhre Rö 1 eine negative Vorspannung liegt, die ausreicht, um diese Röhre praktisch zu sperren. (Alle Betrachtungen beziehen sich auf die Halbwelle der Netzspannung, bei der die verschiedenen Anschlüsse der Transformatorwicklungen die im Schaltbild angegebene Polarität haben.)

Die Endröhre ist im Ausgangszustand durch die Spannung von 20 V gesperrt, deren Phase stets gegenläufig zur Anodenspannung ist.



Wenn die Fotozelle ausreichend beleuchtet ist, dann verschiebt sich die Brückenspannung so, daß die Röhre Rö 1 aufgesteuert wird und Anodenstrom fließt. Die an dem Katodenwiderstand R 5 + R 7 abgegriffene Spannung wirkt der negativen Vorspannung der Röhre Rö 2 entgegen. Diese Röhre wird entsperrt. Ihr Anodenstrom betätigt das Relais Rel, dessen Ruhekontakt dadurch geöffnet wird. Der Widerstand R 6 verhindert, daß ein zu hoher Gitterstrom fließt, wenn das Gitter der Röhre Rö 2 positiv, seine Anode aber negativ ist.

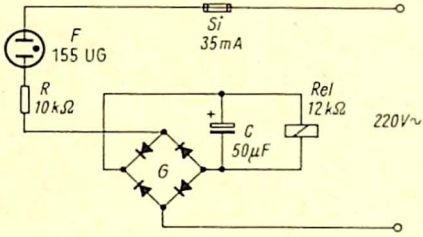
Der Anker des Relais fällt ab, wenn die Flamme erlischt und damit die Beleuchtung der Fotozelle aufhört, wenn die Fotozelle oder eine der Röhren defekt wird oder wenn die Netzspannung ausfällt. Der Ruhekontakt löst dann Alarm und Schutzmaßnahmen aus.

1.4.2 Einfacher Flammenwächter

Die Verwendung eines UV-empfindlichen Indikators ermöglicht diese einfache Schaltung eines Flammenwächters. Die vorgespannte Indikator-Röhre, eine Glimmentladungslampe besonderer Bauart, zündet bei Bestrahlung mit ultraviolettem Licht. Die Frequenz der Zündfolge hängt von der Stärke der Strah-

lung ab. Sie kann im Höchstfalle die doppelte Netzfrequenz erreichen. Bei Betrieb mit Gleichspannung wäre eine besondere Löschschaltung notwendig, um die Entladung beim Ausbleiben der UV-Strahlung zu unterbrechen.

Der Vorwiderstand R begrenzt den Strom der Entladungsröhre F, der den Brückengleichrichter G durchfließt und nach der

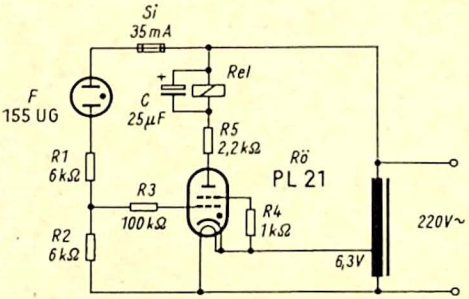


1.4.2

Gleichrichtung das Relais Rel erregt. Dieses Relais muß hochempfindlich sein, da nur eine geringe Leistung zur Verfügung steht. Der Preis eines solchen Relais und die Notwendigkeit, ein Leistungsrelais nachzuschalten, lassen die nachfolgend beschriebenen Flammenwächter mit Verstärkern wirtschaftlicher erscheinen.

1.4.3 Flammenwächter mit Thyratron-Verstärker

Das Thyratron als Verstärker in dieser Flammenwächter-Schaltung ermöglicht die Verwendung eines Relais robuster Bauart. Solange der UV-Indikator F nicht gezündet hat, ist das



1.4.3

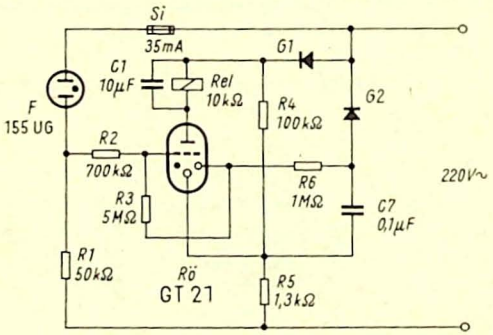
Thyratron Rö durch die an seinem ersten Gitter liegende, der Anodenspannung gegenphasige Heizspannung gesperrt. Bei jeder Zündung der Glimmstrecke wird das Thyratron während aller an seiner Anode positiven Halbwellen aufgesteuert. Das Relais Rel zieht an, und zwar mit einer gewissen Verzögerung entsprechend der Ladezeit des Kondensators C. Diese Zeitkonstante verhindert auch das sofortige Abfallen des Relais, falls einzelne Steuerimpulse ausbleiben.

Wenn die Flamme verlischt und der Indikator F nicht mehr zündet, wird das Thyratron durch die Gittervorspannung gesperrt und das Relais fällt mit leichter Verzögerung ab. Sein Ruhekontakt löst die weiteren Maßnahmen, wie Absperren der Brennstoffzufuhr und Alarmgabe, aus.

1.4.4.1 Flammenwächter mit Kaltkatoden-Relaisröhre

Diese Flammenwächter-Schaltung benutzt eine Kaltkatoden-Relaisröhre, die mit Halbwellen-Gleichstrom betrieben wird. Wenn die Indikator-Röhre F nicht bestrahlt und daher nicht gezündet ist, liegt am Steuergitter der Kaltkatodenröhre Rö eine negative Vorspannung von etwa 20 Volt, die von dem Spannungsteiler mit den Widerständen R 1, R 2, R 3, R 6 abgegriffen wird. Dadurch ist die Röhre im Ruhezustand gesperrt.

Sobald die Glimmstrecke des Indikators infolge ausreichender UV-Bestrahlung zündet, überlagert sich der Vorspannung eine Wechselspannung von der Frequenz der Zündimpulse, deren positive Halbwellen die Kaltkatodenröhre zünden. Deren An-

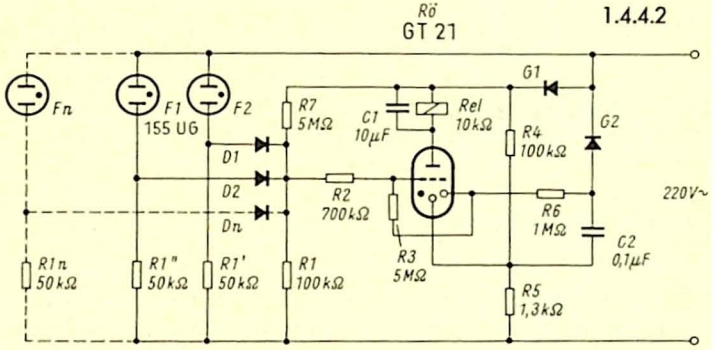


1.4.4.1

odenstrom erregt das Relais Rel. Der Kondensator C 1 parallel zum Relais verzögert die Relaisbewegungen so, daß es nur bei mehreren rasch aufeinanderfolgenden Zündungen des UV-Indikators anspricht und nicht sofort abfällt, wenn nur einzelne Zündungen aussetzen.

1.4.4.2 Wächter für mehrere Flammen

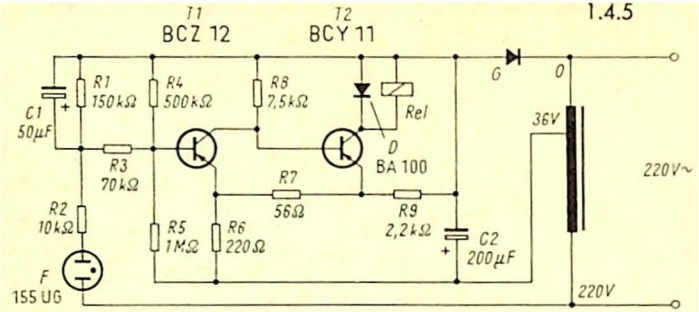
Diese Schaltung ist im Relaisteil mit 1.4.4.1 identisch; das Steuerteil ist jedoch so ausgelegt, daß mehrere Flammen zugleich überwacht werden können. Eine Und-Torschaltung mit den



Dioden D 1, D 2 sorgt dafür, daß das Relais nur dann anzieht, wenn alle Flammen brennen. Bei Erlöschen einer der Flammen fällt das Relais ab.

1.4.5 Flammenwächter mit Transistoren

Die Transistoren T 1 und T 2 bilden durch die Rückkopplung über die Widerstände R 6 und R 7 eine Triggerschaltung. Sie wird von dem UV-Indikator F gesteuert. Wenn dieser infolge Bestrahlung durch die Flamme zündet, laden die Zündimpulse den Kondensator C 1 auf. Erreicht die Spannung am Kondensator den Schwellwert des Triggers, so wird der Transistor T 1 gesperrt und T 2 wird leitend. Sein Kollektorstrom erregt das Relais Rel. Die Diode D schützt den Transistor vor Spannungsspitzen bei plötzlichen Änderungen des Relaisstromes.



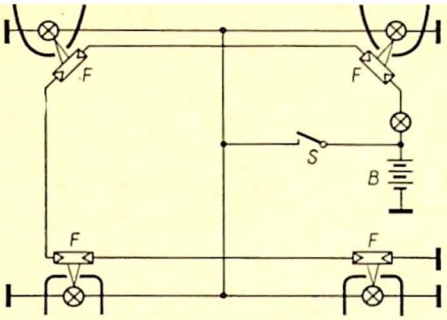
Wenn die Flamme verlöscht, so zündet die UV-Zelle nicht mehr. Der Kondensator C 1 entlädt sich über die angeschlossenen Widerstände, bis beim Unterschreiten der Schwellspannung der Trigger in seine Ruhelage kippt und das Relais abfällt.

1.5 Beleuchtungs-Kontrolle

1.5.1 Beleuchtungsüberwachung

Es ist häufig erforderlich, Beleuchtungsanlagen von einer zentralen Stelle aus zu überwachen, beispielsweise bei Verkehrszeichen, Flugplatzbefeuerungen und anderen Einrichtungen, bei denen der Ausfall der Lichtquellen schwere Schäden nach sich ziehen kann. Hierzu genügt es nicht, eine Kontroll-Lampe parallel zu schalten oder den Strom zu überwachen, besonders dann nicht, wenn viele Lampen an einem Leitungsstrang liegen, wie es bei solchen Anlagen meist der Fall ist. Eine fotoelektrische Einrichtung macht es möglich, festzustellen, ob die zu überwachenden Leuchten tatsächlich Licht abstrahlen.

Die Schaltung zeigt als Beispiel die Überwachung einer Kraftfahrzeugbeleuchtung. Die Scheinwerfer und besonders die Rücklichter sind der direkten Beobachtung entzogen. Deshalb ist in jeden von ihnen ein Fotowiderstand F eingebaut, und zwar so, daß er nur vom Licht der zu überwachenden Glühlampe getroffen wird. Es ist dabei darauf zu achten, daß keine übermäßige Erwärmung der Fotowiderstände eintritt. Sie sind alle hinterein-



1.5.1

andergeschaltet. Im gleichen Stromkreis liegen die Fahrzeugbatterie und eine Signallampe.

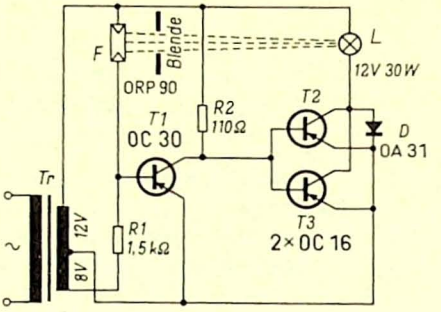
Bei Beleuchtung ist der Widerstand aller Fotowiderstände so niedrig, daß die Signallampe brennt. Fällt eine der Beleuchtungslampen aus, steigt der Widerstand des zugehörigen Fotowiderstandes so weit an, daß die Signallampe erlischt.

Im beleuchteten Zustand hat jeder der verwendeten Fotowiderstände vom Typ LDR 03 einen Wert von rund 40 Ω. Da die höchstzulässige Verlustleistung 0,1 W ist, darf der Strom maximal 50 mA betragen, woraus sich zugleich ein Spannungsabfall von 2 V an jedem Fotowiderstand errechnet. Bei einer 6-V-Wagenbatterie können demnach nur jeweils zwei Fotowiderstände mit einer Glühlampe 2 V/50 mA hintereinandergeschaltet werden. Ist eine 12-V-Batterie vorhanden, lassen sich vier Fotowiderstände mit einer 4-V-Glühlampe in einen Kreis schalten. Im unbeleuchteten Zustand hat ein Fotowiderstand einen Wert von mehreren Megohm, so daß die Signallampe mit Sicherheit dunkel bleibt, wenn eine der Lampen nicht brennt.

1.5.2 Stabilisierung einer Lichtquelle

Für manche Zwecke, beispielsweise in der Fotometrie, aber auch für Geräte, wie den Rauchmelder und den Trübungsanzeiger (siehe Schaltungen 1.3.1 und 1.3.2) werden Lichtquellen von hoher zeitlicher Konstanz des Lichtstromes benötigt. Dazu genügt es nicht, Glühlampen mit gleichbleibendem Strom oder stabilisierter Spannung zu betreiben. Da im Laufe der Betriebs-

zeit Fadenmaterial verdampft, nimmt der Widerstand des Glühfadens zu. Der sich niederschlagende Dampf schwärzt die Innenseite des Glaskolbens. Der abgegebene Lichtstrom ändert sich also auch bei gleichbleibenden elektrischen Betriebsdaten. Mit dieser Regelschaltung kann jedoch ein konstanter Lichtstrom erreicht werden.



1.5.2

Ein Teil des Lichtes der Glühlampe L, deren Helligkeit stabilisiert werden soll, beleuchtet den Fotowiderstand F, der zusammen mit dem Widerstand R 1 und den beiden Wicklungen des Transformators Tr eine Brückenschaltung bildet. In die Brückendiagonale ist die Basis-Emitter-Strecke des Transistors T 1 geschaltet, der über den Kollektor-Widerstand R 2 mit der Wechselspannung aus dem Transformator betrieben wird. Änderungen der Beleuchtungsstärke bewirken Widerstandsänderungen des Fotowiderstandes F und damit eine Verstimmung der Brücke. Da die Kennlinie des Fotowiderstandes nicht linear ist, wechselt bei jeder Halbwelle der Wechselspannung das Vorzeichen der Brückenspannung bei einer Phasenlage, die je nach Beleuchtungsstärke verschieden ist.

Solange der Transistor T 1 durch die Steuerspannung gesperrt ist, fließt durch die parallelgeschalteten Transistoren T 2 und T 3 und somit auch durch die Glühlampe L Strom während derjenigen Halbwelle der Wechselspannung, in der die Emitter negativ sind. Bei der Umkehr der Steuerspannung wird der Transistor T 1 leitend, wodurch T 2 und T 3 gesperrt werden und der Strom durch die Lampe unterbrochen wird. In der anderen Halbwelle

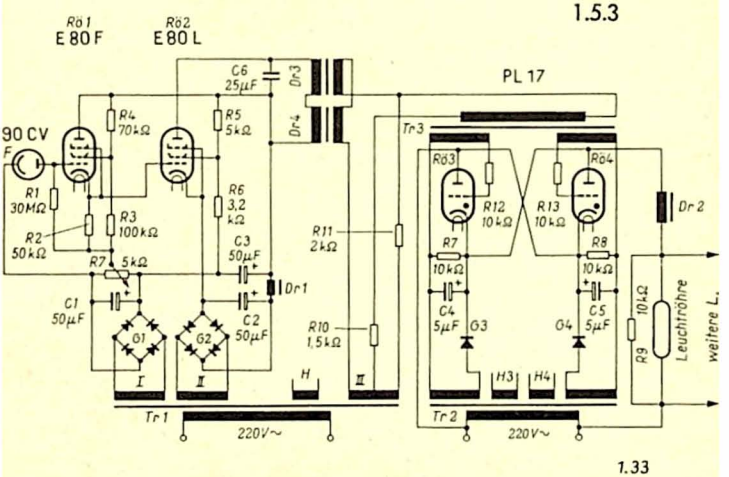
der Netzspannung, bei der die Emitter positiv sind und die Transistoren keinen Strom durchlassen, ist die Diode D leitend und der volle Strom fließt durch die Lampe.

Eine Niederspannungslampe hat eine genügend große thermische Trägheit, so daß diese Betriebsart ausreicht, um den Lichtstrom in engen Grenzen konstant zu halten. Bei Netzspannungsschwankungen von 10 % ändert sich der Lichtstrom nur um 1 %. Voraussetzung dazu ist jedoch, daß die Wärmestrahlung der Lampe vom Fotowiderstand ferngehalten wird, am einfachsten durch großen Abstand, nötigenfalls durch ein Wärmefilter. Die Anordnung wird in einfacher Weise durch eine veränderbare Blende vor dem Fotowiderstand justiert.

1.5.3 Selbsttätige Beleuchtungsregelung

Um die Helligkeit in Räumen und an Arbeitsplätzen unabhängig vom wechselnden Tageslicht konstant zu halten, wird eine zusätzliche künstliche Beleuchtung entsprechend geregelt. Mit einem Gerät nach der Schaltung 1.5.3 geschieht dies selbsttätig.

1.5.3



1.33

Die Fotozelle F ist an einer Stelle im Raum angebracht, auf die die Helligkeitsregelung bezogen werden soll. Die Katodenspannung von – 70 V für die Fotozelle wird aus der besonderen Wicklung I des Transformators Tr 1 entnommen, vom Gleichrichter G 1 gleichgerichtet und vom Kondensator C 1 geglättet. Der Fotostrom erzeugt am Widerstand R 1 die Steuerspannung für die Vorverstärkerröhre Rö 1. Diese arbeitet als stark gegengekoppelter Katodenverstärker. Dadurch ist die Verstärkung dieser Stufe zwar klein, doch wird der hohe Gitterwiderstand möglich und damit eine hohe Empfindlichkeit des Fotozellenteiles erreicht. Wenn eine längere Verbindungsleitung zwischen der Fotozelle und dem Gerät erforderlich ist, kann die Vorverstärkerstufe zur Anpassung des sehr hohen Eingangswiderstandes an eine niederohmige Leitung dienen.

Die Vorstufe steuert die Leistungsstufe mit der Röhre Rö 2, deren Anodenstrom die beiden Drosseln Dr 3 und Dr 4 vormagnetisiert. Ihre Wechselstromwicklungen sind gegensinnig gepolt, um eine Rückwirkung auf die Gleichstromseite zu verhindern.

Die Drosseln Dr 3 und Dr 4 sind Zweige einer Phasenschieberbrücke, die aus der Wicklung III des Netztransformators gespeist wird und in der der Widerstand R 11 den ohmschen Brückenzweig bildet. Im Ausgang der Phasenschieberbrücke liegt der Impulsübertrager Tr 3 mit dem Widerstand R 10. Der Impulsübertrager hat einen Kern mit scharfem Sättigungsknick der Magnetisierungskurve. Dadurch werden steile Spannungsimpulse von etwa 30 V erzeugt, die die Gitter der Thyratrone Rö 3 und Rö 4 tasten.

Wenn bei abnehmender Beleuchtung der Fotozellenstrom sinkt, steigt die Gleichstrom-Vormagnetisierung der Drosseln Dr 3 und Dr 4. Deren Induktivität ändert sich so, daß die Phasenlage der vom Impulsübertrager kommenden Impulse gegenüber der Netzspannung verschoben wird, und zwar in der Weise, daß der Strom durch die Thyratrone und somit durch die Leuchtröhren wächst, deren Helligkeit also zunimmt.

Bei unbelichteter Fotozelle wird die Gitterspannung der Röhre Rö 2 mit dem Spannungsteiler R 7 so eingestellt, daß ein Anodenstrom von 30 mA fließt. Dann ist die Selbstinduktion

der Regeldrossel so weit herabgesetzt, daß die Phasenverschiebung der Gitterwechselspannung der Thyratrone am kleinsten ist und praktisch während der ganzen positiven Halbwelle der Spannung an den Anoden die Thyratrone gezündet sind, somit der höchstmögliche Lampenstrom fließt.

Durch Umpolen der Ansteuerung kann die Schaltung auch so ausgelegt werden, daß die Helligkeit der Lampen gleichsinnig mit der Tagesbeleuchtung gesteuert wird, wie es z. B. bei Verkehrszeichen zweckmäßig ist, deren Helligkeit bei Tageslicht größer sein muß als bei abendlicher Beleuchtung oder bei Dunkelheit.

Baudaten für die Regeldrosseln Dr 3 und Dr 4

Kern: M 55, 10 mm dick, aus 5000 H 2 (Vakuum-Schmelze)
Wechselstromwicklung: 1300 Wdg., 0,12 CuL
Gleichstromwicklung: 5000 Wdg., 0,15 CuL

Baudaten für den Impulstransformator Tr 3

Kern: M 30, 22 Bleche 0,15, aus Mu-Metall
Primärwicklung: 900 Wdg., 0,1 CuL
2 Sekundärwicklungen je 1500 Wdg., 0,1 CuL

1.6 Dämmerungsschalter

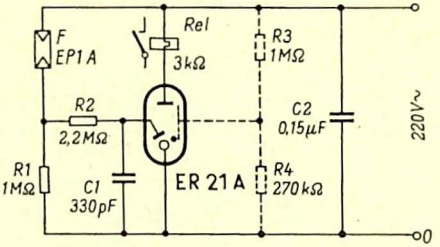
Dämmerungsschalter sind selbsttätig wirkende Einrichtungen, die beim Unterschreiten eines vorgegebenen Helligkeitswertes, gegebenenfalls auch beim Überschreiten desselben oder eines anderen Wertes, schalten, also einen Stromkreis öffnen oder schließen. Sie werden vornehmlich zum Einschalten der Beleuchtung von Straßen und Plätzen, Verkehrszeichen, Lichtreklamen und dergleichen bei abnehmendem Tageslicht verwendet. Zumeist sind sie so eingerichtet, daß die Beleuchtung in der Morgendämmerung wieder abgeschaltet wird.

Eine allgemeine Aufgabe für Dämmerungsschalter besteht darin, den einmal bewirkten Schaltzustand aufrecht zu erhalten, auch wenn geringfügige Helligkeitsschwankungen auftreten, damit die Beleuchtung nicht flackert. Ebenso dürfen kurzzeitige Abschattungen am Tage, etwa durch einen Vogel, und kurze Aufhellungen, z. B. durch Blitze während der Nacht, den Dämmerungsschalter nicht zum Ansprechen bringen. Liegen in dieser Hinsicht erschwerte Verhältnisse vor, so empfiehlt es sich, zusätzlich eine Schaltuhr vorzusehen, die nur für die in Frage kommenden Zeiten Schaltbereitschaft herstellt.

An Dämmerungsschalter werden besonders hohe Anforderungen bezüglich der Betriebssicherheit gestellt. Sie sollen über lange Zeiträume ohne Wartung zuverlässig arbeiten. Montage im Freien verlangt Beständigkeit gegen Luftfeuchtigkeit und extreme Temperaturen.

1.6.1 Dämmerungsschalter mit Thermorelais

Da in dieser Schaltung eine Kaltkatodenröhre verwendet wird, die mit 220 V betrieben werden kann, wird das Gerät unmittelbar mit der Netzspannung gespeist. Der Fotowiderstand F bildet zusammen mit dem Widerstand R 1 einen Spannungsteiler, dessen Teilerverhältnis sich beim Ändern der Beleuchtung verschiebt. Im Ruhezustand, d. h. bei normaler Helligkeit, liegt eine Spannung von über 100 V an der Starterelektrode der Kaltkatodenröhre. Sie erzeugt eine Steuerentladung zwischen Katode und Starter, die bei jeder an der Anode positiven Halbwelle der



1.6.1

Netzspannung eine Hauptentladung zwischen Katode und Anode auslöst. Der Strom durchfließt das Thermorelais Rel, beispielsweise einen Bimetallschalter mit Sprungschaltung, der so dimensioniert ist, daß er etwa eine bis zwei Minuten nach dem Einschalten des Gerätes seinen Ruhekontakt öffnet. Bei beleuchtetem Fotowiderstand ist also die Relaisröhre gezündet, das Relais beheizt und der Ruhekontakt geöffnet.

Sinkt die Beleuchtungsstärke in der Dämmerung, so steigt der Widerstandswert des Fotowiderstandes, die Spannung an der Starterelektrode sinkt. Unterschreitet sie die Zündspannung, kommt auch die Hauptentladung nicht mehr zustande. Das Thermorelais kühlt ab und nach etwa zwei Minuten schließt der

Ruhekontakt, der entweder unmittelbar oder über Schütze die Beleuchtung einschaltet.

Die Ansprechempfindlichkeit kann durch Ändern der Größe des Widerstandes R 1 gewählt werden. Besser ist es jedoch, eine einstellbare Blende vor den Fotowiderstand zu setzen. Sie wird bei dem Helligkeitsgrad, bei dem der Dämmerungsschalter ansprechen soll, gerade so weit geschlossen, daß man das Löschen der Entladung in der Röhre beobachten kann.

Der Kondensator C 1 wirkt als Speicher. Da der Strom durch den hochohmigen Widerstand R 2 nicht zum Zünden ausreicht, wird der erforderliche Strom aus der Ladung dieses Kondensators entnommen. Durch den Abgriff am Spannungsteiler R 3/R 4 wird die Wandelektrode der Kaltkatodenröhre auf ein definiertes Potential gebracht. Dies erübrigt sich, wenn das Gerät in einem gut abgeschirmten und geerdeten Gehäuse untergebracht ist, was schon aus Gründen der Sicherheit und der Funkentstörung notwendig ist. Der Kondensator C 2 dient der Entstörung.

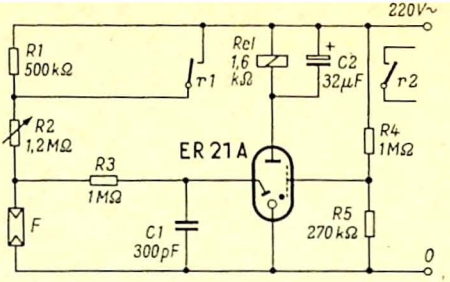
Das Thermorelais muß temperaturkompensiert sein, damit die Temperaturänderungen, denen das meist im Freien angebrachte Gerät ausgesetzt ist, den Einsatzpunkt nicht verschieben können.

Diese Schaltung ist so ausgelegt, daß im Betriebszustand, also bei eingeschalteter Beleuchtung in der Nacht, praktisch kein Strom aufgenommen wird. In der Bereitschaftsstellung am Tage dagegen ist die Röhre gezündet. Dieser Nachteil kann durch eine zusätzliche Schaltuhr umgangen werden.

1.6.2 Dämmerungsschalter in Arbeitsstromschaltung

Der Vorteil dieser Schaltung liegt darin, daß im Ruhezustand praktisch keine Leistung verbraucht wird. Das Relais zieht an, wenn der Schwellwert der Beleuchtungsstärke unterschritten wird.

Der Fotowiderstand F ist mit den Widerständen R 1 und R 2 so zu einem Spannungsteiler geschaltet und an die Netzspannung gelegt, daß bei abnehmender Beleuchtung die Spannung an der Starterelektrode der Kaltkatodenröhre steigt. Wird die Zündspannung erreicht, so zündet die Strecke Katode–Starter, wobei der Speicherkondensator C 1 den für den Zündstoß erforder-



1.6.2

lichen Strom liefert. Bei jeder positiven Halbwelle der Netzspannung wird die Hauptentladung Katode–Anode gezündet.

Der Strom betätigt das Relais Rel. Dieses schließt den Arbeitskontakt r 2, durch den die Beleuchtung unmittelbar oder durch weitere Relais eingeschaltet wird. Zugleich wird der Kontakt r 1 geschlossen, der den Widerstand R 1 überbrückt. Dadurch wird der Spannungsteiler so verändert, daß die Spannung an der Starterelektrode angehoben wird. Auf diese Weise wird erreicht, daß die Zündspannung mit Sicherheit aufrecht erhalten bleibt, auch wenn geringe Helligkeitsschwankungen oder Spannungsänderungen auftreten. Nachdem also der Grenzwert der Dämmerung einmal überschritten ist, wird der hergestellte Schaltzustand erst durch erhebliche Unterschiede in der Helligkeit wieder aufgehoben, nicht aber durch unvermeidbare kleine Abweichungen.

Der große Kondensator C 2 parallel zum Relais verhindert nicht nur das Schnarren des Relais, das ja mit einweggleichgerichtetem Wechselstrom betrieben wird, sondern gibt der Anordnung auch die erforderliche Trägheit, damit der Dämmerungsschalter nicht auf kurzzeitige Abdunkelungen am Tage oder Lichtblitze in der Nacht anspricht. Es empfiehlt sich, dem Kondensator einen Widerstand von 1 bis 2 kΩ zur Strombegrenzung vorzuschalten. Über die Widerstände R 4 und R 5 ist die Wandelektrode an ein definiertes Potential gelegt.

Die verwendeten Bauelemente, besonders auch der Fotowiderstand und die Kaltkatodenröhre, sind von Natur aus robust. Da in der beschriebenen Schaltung nur in der Arbeitsstellung Strom fließt, ist die Beanspruchung aller Teile gering und die Lebensdauererwartung hoch. Bei entsprechendem Aufbau kann man

durchaus mit einem wartungsfreien Betrieb von fünf Jahren und mehr rechnen.

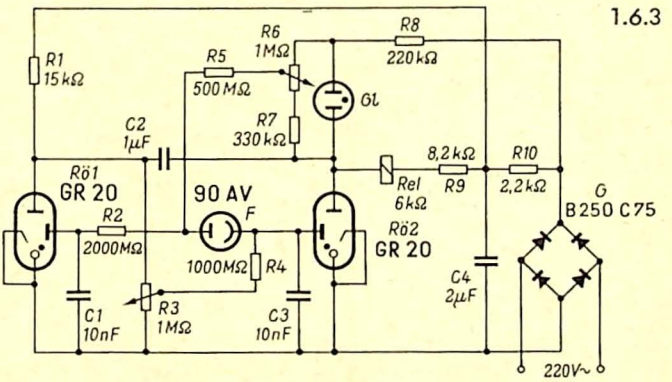
1.6.3 Dämmerungsschalter mit Kippschaltung

Bei dieser Schaltung wird mit elektronischen Mitteln erreicht, daß die Ausschalthelligkeit höher liegt als die für das Einschalten. Das ist notwendig, damit ein Hin- und Herschalten beim Erreichen der Ansprechwerte vermieden wird. Das Ein-Aus-Intervall kann eingestellt werden.

Die beiden Kaltkatodenröhren Rö 1 und Rö 2 bilden eine Flipflop-Schaltung; jeweils eine der Röhren ist also gezündet, während die andere gelöscht ist. Der Kippvorgang wird durch die Fotozelle F gesteuert, und zwar so, daß bei „hell" die Röhre Rö 2, bei „dunkel" die Röhre Rö 1 gezündet ist.

Bei schwachbeleuchteter Fotozelle fließt nur ein geringer Strom durch die Arbeitswiderstände R 4 und R 5. An der Fotokatode liegt die am Spannungsteiler R 3 abgegriffene Spannung, an der Anode praktisch die volle Betriebsspannung. Der Widerstand R 2 ist so groß, daß auch bei gezündeter Röhre Rö 1 nahezu die ganze Spannung an ihm liegt.

Bei Anstieg der Beleuchtung wächst der Fotostrom und erzeugt einen der Helligkeit proportionalen Spannungsabfall an den Widerständen R 5 und R 4. Die Spannung an R 4 addiert sich zu der am Teiler R 3 abgegriffenen. Wenn ihre Zündspannung er-



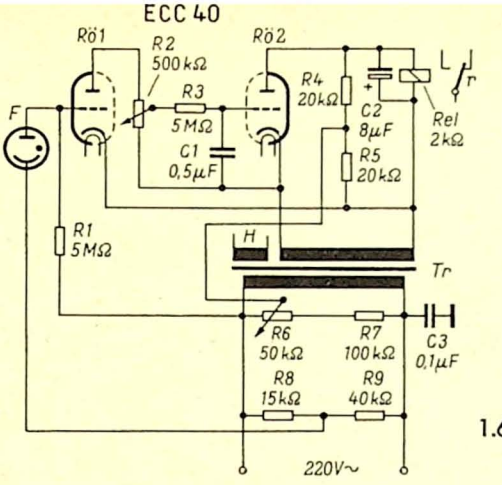
reicht ist, zündet die Kaltkatodenröhre Rö 2 und das Relais Rel zieht an. Über den Kondensator C 2 wird die Röhre Rö 1 gelöscht. Der Spannungsabfall am Relais Rel und dem Widerstand R 9 zündet die Glimmröhre Gl. Damit ist die Spannung am Teiler R 6/R 7 stabilisiert, also auch die Spannung, die von R 6 abgegriffen wird. Die Katode der Fotozelle hat das Potential der Starterelektrode der Röhre Rö 2. Der Fotostrom erzeugt am Widerstand R 5 einen so hohen Spannungsabfall, daß die Röhre Rö 1 nicht zünden kann. Erst wenn die Beleuchtung und der Fotostrom einen Mindestwert unterschreiten, zündet die Röhre Rö 1 wieder, woraufhin Rö 2 löscht, das Relais Rel abfällt und auch die Glimmröhre Gl löscht. Der Ruhekontakt des Relais schaltet die Beleuchtung ein.

Die Spanne zwischen der Einschalt- und Ausschalt-Helligkeit wird mit dem Spannungsteiler R 3 eingestellt. Die Gesamtempfindlichkeit des Gerätes läßt sich durch eine Blende, die vor der Fotozelle angeordnet ist, verändern. Die Kondensatoren C 1 und C 3 an den Starterelektroden der beiden Kaltkatodenröhren ergeben zusammen mit den großen Widerständen Zeitkonstanten, durch die Schaltverzögerungen von 15 bis 30 Sekunden erreicht werden. Kurzzeitige Abdunkelungen oder Aufhellungen lösen daher den Kippvorgang nicht aus.

Eine gewisse Schwierigkeit bei der Verwirklichung dieser Schaltung liegt in den hohen Werten der Widerstände R 2, R 4 und R 5. Es ist unbedingt erforderlich, daß alle Schaltpunkte hochwertig isoliert sind und daß diese hohe Isolation unter allen Betriebsbedingungen aufrecht erhalten bleibt. Das bezieht sich auch auf die Isolationsgüte der Kondensatoren C 1 und C 3. Die schweren Umgebungsbedingungen, denen derartige, oft im Freien montierte Geräte ausgesetzt sind, werden allerdings dadurch gemildert, daß das Gerät ständig Strom aufnimmt, so daß es immer leicht erwärmt ist, und sich kein Schwitzwasser niederschlagen kann. Hochwertige Bauteile sind in jedem Falle zu empfehlen.

1.6.4 Dämmerungsschalter in Ruhestromschaltung

Der Dämmerungsschalter nach dieser Schaltung arbeitet in Ruhestromschaltung. Ein Defekt im Gerät wird durch Einschalten



1.6.4

der Beleuchtung gemeldet, eine wirksame, doch nicht immer angebrachte Art der Störungsanzeige.

Das Gerät wird mit Wechselspannung betrieben, nutzt also die Gleichrichterwirkung der Röhren und der Fotozelle aus. Die Fotozelle F erhält ihre Vorspannung über den Spannungsteiler R 8/R 9 direkt vom Netz, während die Anodenspannung für die Röhrensysteme von der Sekundärwicklung des Transformators geliefert wird. Bei Tageslichtbeleuchtung fließt ein Fotostrom, der am Widerstand R 1 eine negative Spannung erzeugt, die das Röhrensystem Rö 1 sperrt. Die Röhre führt keinen Anodenstrom, am Widerstand R 2 entsteht kein Spannungsabfall. Deshalb liegt das Gitter des zweiten Röhrensystems Rö 2, das galvanisch angekoppelt ist, praktisch auf dem gleichen Potential wie die Katode. Dieses System ist also voll aufgesteuert. Sein Anodenstrom durchfließt das Relais Rel, der Anker ist angezogen und der Ruhekontakt r geöffnet.

Sinkt die Beleuchtungsstärke, so wird das System Rö 1 aufgesteuert und das System Rö 2 durch den Spannungsabfall am Anodenwiderstand R 2 gesperrt. Das Relais fällt ab, und der Ruhekontakt r schließt sich, wodurch die Beleuchtung eingeschaltet wird.

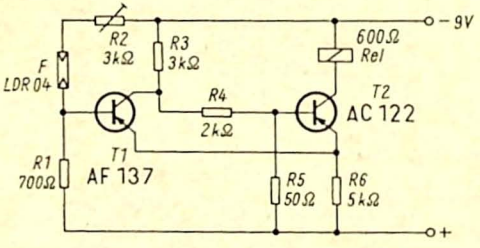
Die für einen Dämmerungsschalter erforderliche Schaltverzögerung bewirkt das RC-Glied R 3/C 1, dessen Zeitkonstante so groß ist, daß die Spannung am Gitter der Röhre Rö 2 nur langsam den Spannungsänderungen am Anodenwiderstand R 2 folgt.

Durch den Abgriff am Widerstand R 2 muß der Röhre Rö 2 eine so hohe Gittervorspannung gegeben werden, daß im aufgesteuerten Zustand die zulässige Verlustleistung nicht überschritten wird. Die Ansprechempfindlichkeit wird durch den Abgriff am Widerstand R 6 gewählt.

Die vom Netz abgenommene Spannung und die an der Sekundärwicklung des Transformators müssen die richtige Phasenlage zueinander haben, was durch Umpolen einer Wicklung nötigenfalls leicht zu erreichen ist.

1.6.5 Dämmerungsschalter mit Transistoren

Dämmerungsschalter mit Transistorverstärkern benötigen nur eine niedrige Betriebsspannung. Sie eignen sich demnach zum Einbau in Kraftfahrzeuge und zur Speisung aus der Wagenbatterie. Ihre Aufgabe ist es vorzugsweise, die Parkleuchten nach Bedarf, also je nach Tageshelligkeit, ein- und auszuschalten. Da derartige Dämmerungsschalter mit Halbleiter-Bauelementen praktisch wartungsfrei sind und sich durch geringen Leistungs-



1.6.5

bedarf auszeichnen, können sie auch zu vielen anderen Zwecken vorteilhaft verwendet werden.

Solange genügend Licht auf den Fotowiderstand F fällt, ist sein Widerstandswert so klein, daß die Basis des Transistors T 1 stark negativ vorgespannt ist. Er ist durchgesteuert, sein Innenwiderstand ist klein. Fast die gesamte Betriebsspannung liegt am Kollektorwiderstand R 3. Am Spannungsteiler R 4/R 5 liegt

die geringe Restspannung. Die von ihm abgegriffene Vorspannung für die Basis des Transistors T 2 hat einen so geringen negativen Wert, daß dieser Transistor praktisch gesperrt ist. Das Relais Rel ist somit stromlos.

Nimmt die Beleuchtungsstärke ab, so steigt der Widerstandswert des Fotowiderstandes F. Das Spannungsteilerverhältnis verschiebt sich so, daß die Basisspannung des Transistors T 1 weniger negativ wird. Der Kollektorstrom wird geringer und mit ihm der Spannungsabfall am Widerstand R 3. Die nach negativen Werten steigende Spannung an der Basis steuert den Transistor T 2 auf. Bei Erreichen des Ansprechstromes zieht der Anker des Relais an.

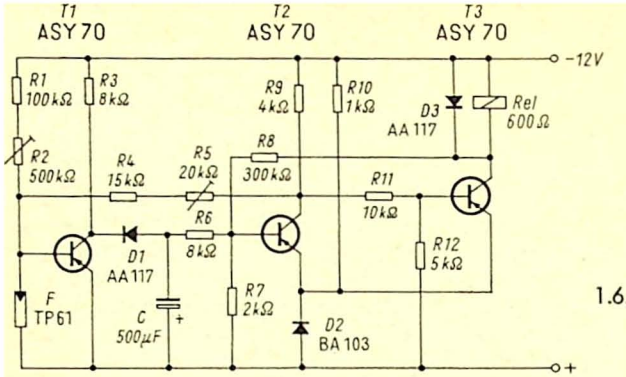
Der gemeinsame Emitterwiderstand R 6 erzeugt eine Rückkopplung, durch die ein scharfer Schalteinsatz beim Unter- bzw. Überschreiten der Helligkeit, bei der der Dämmerungsschalter anspricht, erzeugt wird. Der Ansprechwert wird mit dem Widerstand R 2 eingestellt.

1.6.6 Transistor-Dämmerungsschalter mit Verzögerung

Bei dieser Schaltung ist dafür gesorgt, daß das Relais nicht auf kurzzeitige Abdunklungen oder Lichtblitze anspricht. Zugleich sind Maßnahmen vorgesehen, durch die scharfer Schalteinsatz nach Ablauf der Verzögerungszeit erreicht wird.

Bei Helligkeit sperrt die vom Fotoelement F gelieferte Spannung den Transistor T 1. Seine in diesem Zustand nur wenig negative Kollektorspannung, durch die Widerstände R 6 und R 7 geteilt, steuert den Transistor T 2 durch. Der Transistor T 3 ist demnach gesperrt und das Relais Rel stromlos.

Sinkt die Beleuchtung des Fotoelementes mit abnehmendem Tageslicht, so wird die Basisspannung des Transistors T 1 geringer. Sein Kollektorstrom steigt; entsprechend geht die Spannung am Kollektor nach mehr negativen Werten. Der Transistor T 2 folgt diesem Vorgang aber zunächst nicht. Die Ladung des Kondensators C kann nicht über die Diode D 1 abfließen, sondern nur über den Eingang des Transistors T 2. Dieser bleibt dadurch noch eine gewisse Zeit durchgesteuert. Bei weiterer Entladung des Kondensators wird der Transistor T 2 gesperrt und T 3 aufgesteuert. Da diese beiden Transistoren über den Widerstand R 8



rückgekoppelt sind, entsteht ein Trigger-Effekt, durch den trotz der langsamen Entladung des Kondensators ein plötzliches Einsetzen des Kollektorstromes und ein sauberes Anziehen des Relais erreicht werden. Über die Widerstände R 4 + R 5 ist auch auf den Transistor T 1 rückgekoppelt, so daß dieser zusätzlich voll durchgesteuert wird.

Bei steigender Helligkeit sperrt die positive Spannung des Fotoelementes wieder den Transistor T 1. Der Kondensator C wird aufgeladen. Erreicht seine Spannung den erforderlichen Wert, so wird T 2 durchgesteuert und T 3 gesperrt; das Relais fällt ab. Kurzzeitige Änderungen der Beleuchtungsstärke werden durch den Kondensator aufgefangen, da dessen Spannung sich bei solchen Schwankungen nicht wesentlich ändert. Bei der gewählten Größe des Kondensators C beträgt die Verzögerungszeit beim Einschalten rund 3 Sekunden, beim Ausschalten 4 Sekunden.

Mit dem Widerstand R 2 wird der untere Helligkeitswert, mit dem Widerstand R 5 der obere Helligkeitswert, bei dem das Relais schaltet, eingestellt.

1.7 Lichtmengen-Schalter

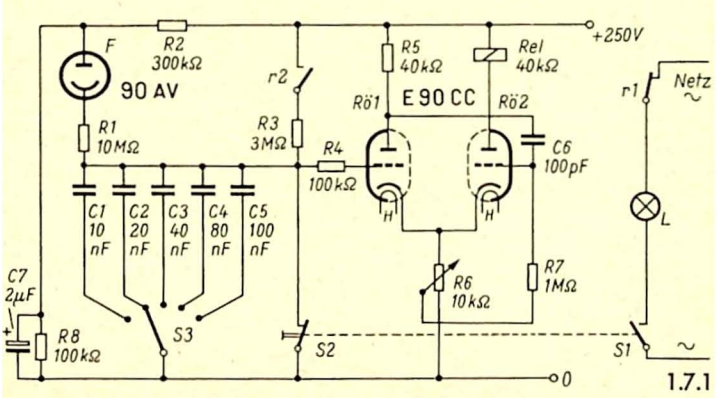
1.7.1 Lichtmengen-Schaltgerät für Fotoarbeiten

Um beim Kopieren oder Vergrößern von fotografischen Negativen gleichmäßige Positive zu erhalten, muß die Belichtungszeit

so bemessen werden, daß stets die gleiche Lichtmenge auf das Papier fällt. Bei einem Gerät nach der vorliegenden Schaltung wird die Lichtquelle selbsttätig abgeschaltet, wenn die vorgegebene Lichtmenge erreicht ist.

Die Fotozelle wird entweder so angeordnet, daß sie das vom Positivpapier reflektierte Licht aufnimmt, oder es wird ein Teil des Lichtes durch einen in den Strahlengang unter einer Neigung von 45° gestellten halbdurchlässigen Spiegel ausgeblendet und auf die Fotozelle geworfen. Es ist auch möglich, die Fotozelle hinter einer Opalglasplatte anzubringen, die unter dem Papier liegt; bei Kontaktkopien ist dies die einzige Möglichkeit.

Da die Lichtmenge nur langsam anwächst, jedoch eine plötzliche Schaltauslösung notwendig ist, wird eine Flipflop-Schaltung verwendet. Sie wird aus den beiden Röhrensystemen Rö 1 und Rö 2 gebildet, die sich gegenseitig so steuern, daß stets nur ein stabiler Zustand hergestellt wird, also entweder das eine oder das andere Röhrensystem leitet. Im Ausgangszustand fließt Anodenstrom in Rö 2; somit ist das Relais Rel angezogen. Die Lichtquelle des Kopier- oder Vergrößerungsgerätes L wird mit dem Schalter S 1 eingeschaltet, mit dem zugleich der Schalter S 2 geöffnet wird. Dieser hatte bis dahin das Gitter von Rö 1 auf Nullpotential gehalten. Infolge Belichtung der Fotozelle F fließt durch den Widerstand R 1 ein Fotostrom, der den mit dem Schalter S 3 eingeschalteten Kondensator der Gruppe C 1...C 5 auf-



1.7.1

lädt. Die Ladezeit hängt vom Fotostrom, der proportional der Beleuchtungsstärke ist, und von der durch den Widerstand R 1 mit dem Kondensator gebildeten Zeitkonstanten ab.

Ist die positive Spannung am Kondensator und damit am Steuergitter der Röhre 1 weit genug gestiegen, so wird das Röhrensystem 1 leitend. Dadurch wird das System Rö 2 gesperrt, das Relais fällt ab und unterbricht mit dem Kontakt r 1 den Stromkreis der Lampe L, während r 2 geschlossen wird. Durch Öffnen des Schalters S 1 und Schließen von S 2 wird der Ausgangszustand wieder hergestellt. Schließen von S 1 und Öffnen von S 2 löst einen neuen Belichtungsvorgang aus. Dazu kann auch eine Taste verwendet werden, die jeweils beim Drücken die Rückstellung und beim Loslassen den Belichtungsbeginn bewirkt. Ebenso kann auch die Rückstellung selbsttätig durch ein gegenüber dem Relais Rel verzögert arbeitendes Relais erfolgen.

Das Gerät wird durch Probevergrößerungen auf Streifen der verschiedenen Papiersorten und Gradationen geeicht. Die für richtige Belichtung gefundenen Stellungen des Schalters S 3 werden in einer Tabelle festgehalten, in der auch der Abstand der Zelle vom Papier vermerkt wird. Es kann zweckmäßig sein, die Zahl der Kondensatoren bei gleichmäßiger Abstufung zu verdoppeln, um eine bessere Anpassungsfähigkeit zu erzielen. Der Widerstand R 6 in der gemeinsamen Katodenzuleitung der Röhrensysteme ermöglicht eine Feinwahl.

Da das erste Röhrensystem wie eine Elektrometerröhre arbeitet, ist nur ein Exemplar verwendbar, das ein einwandfreies Vakuum hat. Alle mit dem Gitteranschluß verbundenen Teile, also Röhrensockel und -fassungen sowie die Kondensatoren C 1 bis C 5, müssen hohe und konstante Isolationswiderstände haben, die sich auch z. B. in feuchter Dunkelkammerumgebung nicht verändern dürfen. Als Fotozelle ist nur eine Vakuumzelle geeignet, da nur bei solchen der Fotostrom der Beleuchtung proportional ist. Der Relaiskontakt r 1 muß für Spannung und Strom der Lampe L bemessen sein. Nötigenfalls wird mit ihm erst ein Schütz geschaltet.

2 Lichtrelais

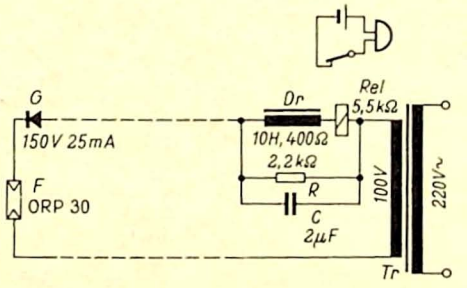
Unter der Bezeichnung *Lichtrelais* sind nachstehend alle Schaltungen zusammengefaßt, bei denen ein elektrischer Schaltvorgang, im allgemeinen das Betätigen eines Relais, durch einen aufleuchtenden Lichtstrahl bzw. seine Unterbrechung gesteuert wird. Wodurch und auf welche Weise die Beleuchtung des fotoelektrischen Wandlers geändert wird, bestimmt der Verwendungszweck, der hier unberücksichtigt bleibt.

2.1 Verstärkerlose Lichtrelais

Die Empfindlichkeit und die zulässige Verlustleistung von Kadmiumsulfid-Fotowiderständen sind so hoch, daß es möglich ist, mit ihnen leichtansprechende Relais unmittelbar, also ohne vorgeschaltete Verstärker, zu betreiben. Auf diese Weise aufgebaute Geräte sind besonders einfach und wirtschaftlich, robust und betriebssicher. Sie erfordern zudem keine Wartung und haben eine sehr hohe Lebensdauer. Deshalb sind die nachfolgend beschriebenen Schaltungen außer für allgemeine Zwecke vorzüglich für Schutz- und Alarmanlagen wie Einbruchsicherungen, Rauchmelder, Flammenwächter und dgl. geeignet.

2.1.1 Lichtrelais mit Störmeldung

Der Widerstandswert des Fotowiderstandes F nimmt mit steigender Beleuchtung ab, der hindurchfließende Strom steigt an. Erreicht er den Ansprechstrom des Relais Rel, dann wird dessen Anker angezogen. Er fällt bei einem niedrigeren Strom, also bei geringerer Beleuchtungsstärke als zum Ansprechen erforder-



2.1.1

lich ist, wieder ab. Um diesen Unterschied zwischen Ansprechen und Abfallen möglichst klein zu halten, ist der Arbeitsbereich des Fotowiderstandes durch den Widerstand R und den Kondensator C in einen steil verlaufenden Teil der Kennlinie gelegt. Damit ist das Verhältnis der Beleuchtungsstärken, bei denen das Relais anzieht und abfällt, etwa 2 : 1. Ist jedoch aus irgendwelchen Gründen eine große Spanne erwünscht, dann können die Schaltelemente C und R wegbleiben.

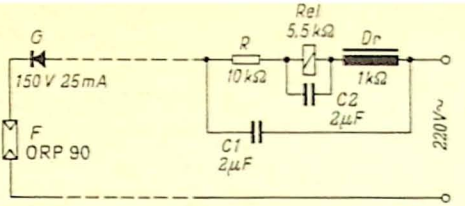
Im Schaltbild ist ein Ruhekontakt des Relais oberhalb der Relaiswicklung gezeigt. Er bleibt so lange geöffnet, wie der Fotowiderstand ausreichend beleuchtet ist. Fällt der Anker ab, dann schließt der Kontakt und der aus einer eigenen Stromquelle gespeiste Wecker gibt Alarm (in dieser Stellung ist der Kontakt gezeichnet). Dies tritt beim Abdecken des Lichtstrahles ebenso wie bei Ausfall der Lichtquelle ein. Der Wecker spricht auch an, wenn die Netzspannung ausfällt oder die Zuleitung zu dem gegebenenfalls in einiger Entfernung vom Gerät angeordneten Fotowiderstand unterbrochen wird.

Schließlich ist noch dafür gesorgt, daß ein Kurzschluß der Zuleitung ebenfalls Alarm auslöst. Der Gleichrichter G ist zu diesem Zweck örtlich mit dem Fotowiderstand F zusammengelegt. Bei kurzgeschlossener Leitung fließt durch das Relais nur Wechselstrom, so daß der Anker abfällt und der Ruhekontakt den Wecker einschaltet. Die Drossel Dr setzt dabei die Größe des Wechselstromes herab. Sie kann entfallen, wenn ein Schnarren des Relais im Falle des Zuleitungskurzschlusses nicht stört oder sogar erwünscht ist. Auf diese Weise ist ein Höchstmaß an Störsicherheit erreicht.

Der Transformator Tr trennt das Gerät vom Netz und setzt die Spannung auf den zum Betrieb notwendigen Wert herab.

2.1.2 Lichtrelais für direkten Netzanschluß

Bei geeigneter Bemessung der Schaltelemente und Verwendung eines Fotowiderstandes mit ausreichend hoher Verlustleistung kann eine Lichtrelais-Anordnung direkt mit der 220-V-Netzspannung betrieben werden. Hierbei sind die Sicherheitsbestimmungen zu beachten. Der größte auftretende Strom ist durch die Summe der Widerstände des Relais Rel, der Drossel



2.1.2

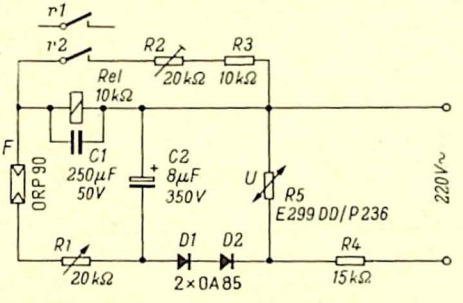
Dr und des Widerstandes R bestimmt. Der Wert von R wird so gewählt, daß die für den Fotowiderstand zulässige Verlustleistung keinesfalls überschritten wird, das Relais aber sicher anspricht.

2.1.3 Lichtrelais mit Ansprech-Intervall

Bei Beleuchtung des Fotowiderstandes zieht das Relais an, und bei nur geringfügigem Absinken der Beleuchtungsstärke fällt es ab.

Die Schaltung wird direkt aus dem Wechselstromnetz betrieben. Die erforderliche Betriebsspannung wird an dem Spannungsteiler aus dem Widerstand R 4 und dem spannungsabhängigen VDR-Widerstand R 5 abgegriffen. Der VDR-Widerstand bewirkt eine gewisse Spannungsstabilisierung, durch die Auswirkungen von Netzspannungsschwankungen gemildert werden. Da der Stromverbrauch niedrig ist, genügen die beiden hintereinandergeschalteten Dioden D 1 und D 2 als Gleichrichter. Der Ladekondensator C 2 glättet die gleichgerichtete Spannung.

Bei Beleuchtung des Fotowiderstandes sinkt dessen Widerstandswert, der hindurchfließende Strom steigt an, beim Errei-



2.1.3

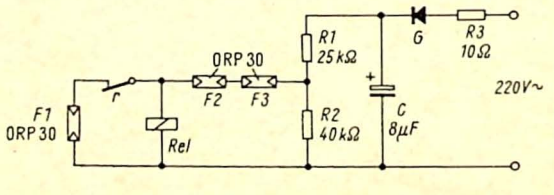
chen der Ansprechstromstärke zieht das Relais an. Außer dem Arbeitskontakt r 1 wird der Relaiskontakt r 2 geschlossen, der dem Relais die Widerstände R 2 + R 3 parallelschaltet. Dieser Nebenschluß setzt den Strom, der die Relaiswicklung durchfließt, so weit herab, daß der Anker bei einer geringen Verminderung der Beleuchtungsstärke bereits abfällt. Ohne diese Maßnahme müßte der Strom durch das Relais wenigstens auf die Hälfte absinken, ehe der Anker abfällt. Die Spanne zwischen Anzug und Abfall und somit der Unterschied der Beleuchtungsstärken, bei denen dieses Lichtrelais anspricht, kann mit dem Widerstand R 2 eingestellt werden. Die Spanne ist nach unten durch die immer vorhandenen Unstabilitäten, Spannungsschwankungen, Erwärmung der Schaltelemente, besonders des Fotowiderstandes, und dgl. begrenzt.

Der Kondensator C 1 parallel zum Relais wirkt als Puffer und verhindert, daß die Anordnung auf kurze Lichtblitze oder sehr kurzzeitige Abdunklungen anspricht. Die Ansprechempfindlichkeit wird mit dem Widerstand R 1 eingestellt. Sie ist mit Werten von 4 Lux und darunter bemerkenswert hoch; die Anlage ist also recht empfindlich.

2.1.4 Folgerelais

Eine Einrichtung nach der folgenden Schaltung kann als Einbruchsicherung oder zur Überwachung der richtigen Folge zweier Vorgänge und zur Lösung von mancherlei anderen Aufgaben dienen.

Wenn alle drei Fotowiderstände F 1 bis F 3 belichtet sind, fließt der Strom, den F 2 und F 3 durchlassen, hauptsächlich durch F 1 im Nebenschluß zur Wicklung des Relais Rel. Der Anker des Relais ist nicht angezogen. Unterbrechung der Beleuchtung von F 2 oder F 3 oder beider ändert an diesem Zustand nichts. Wird



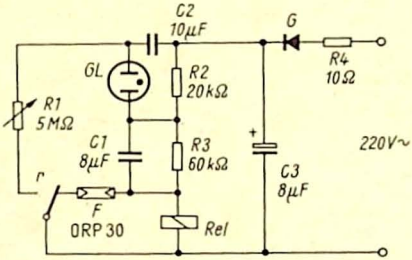
2.1.4

jedoch F 1 abgedunkelt, während F 2 und F 3 ihren niedrigen Widerstandswert infolge ausreichender Beleuchtung haben, so zieht das Relais an und öffnet den Ruhekontakt r, der den Fotowiderstand F 1 abschaltet. Wiederbeleuchtung von F 1 hat keine Wirkung. Das Relais bleibt angezogen, bis die Beleuchtung von F 2 oder F 3 unterbrochen wird. Dann fällt das Relais ab und der Ausgangszustand wird wieder hergestellt.

2.1.5 Lichtrelais mit Abfallverzögerung

Bei kurzzeitiger Unterbrechung der Beleuchtung des Fotowiderstandes zieht das Relais an, fällt aber, auch wenn die Beleuchtung inzwischen wiedergekehrt ist, erst nach einer einstellbaren Verzögerungszeit wieder ab.

Im Ruhezustand, also bei beleuchtetem Fotowiderstand F, hat dieser einen so niedrigen Widerstandswert, daß das ihm parallelgeschaltete Relais praktisch kurzgeschlossen ist und nicht anziehen kann. Der Kondensator C 1 ist auf die Spannung aufgeladen, die am Widerstand R 3 steht.



2.1.5

Wird die Beleuchtung des Fotowiderstandes unterbrochen, steigt sein Widerstandswert, das Relais Rel zieht an. Er schaltet mit seinem Wechselkontakt r den Fotowiderstand ab und verbindet stattdessen das freie Ende des Widerstandes R 1 mit dem anderen Pol der Betriebsspannung. Der abgeschaltete Fotowiderstand beeinflußt das Relais nicht mehr. Dieses bleibt angezogen, auch wenn der Fotowiderstand wieder beleuchtet wird.

Über den Widerstand R 1 lädt sich nun der Kondensator C 2 auf. Wenn er die Zündspannung der Glimmlampe GL zuzüglich der Spannung am Widerstand R 2 erreicht, zündet die Gasent-

ladung. Die Brennspannung ist aber nur ungefähr 60 V. Die Spannung am Widerstand R 2 steigt entsprechend an. Das bedeutet, daß am Widerstand R 3 und am Relais Rel die Spannung absinkt. Dadurch fällt das Relais ab, der Fotowiderstand wird ihm parallelgeschaltet und der Ausgangszustand ist wieder hergestellt.

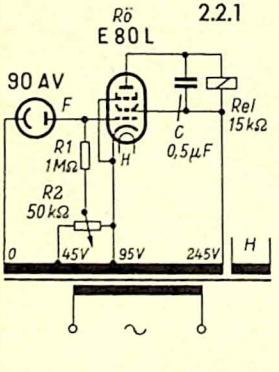
Die Verzögerungszeit kann mit dem Widerstand R 1 zwischen 15 und 90 Sekunden eingestellt werden.

2.2 Lichtrelais mit Elektronenröhren-Verstärkern

Die besonderen Eigenschaften von Elektronenröhren: hoher Eingangswiderstand, Temperatur-Unabhängigkeit und Konstanz der Betriebswerte, machen sie besonders in Verbindung mit Fotozellen zu geeigneten Verstärkern für Lichtrelais, bei denen es auf hohe Empfindlichkeit ankommt. Elektronenröhren sind jedoch in den am häufigsten vorkommenden Fällen, wo es auf ein sprungartiges Schalten ankommt, den gasgefüllten Schaltröhren, gleichgültig ob mit geheizter oder kalter Katode, unterlegen. Deshalb werden hier nur wenige typische Beispiele von Kombinationen von Elektronenröhren mit Fotozellen gebracht.

2.2.1 Lichtrelais mit Einröhren-Verstärker

Einfacher Aufbau und ein Minimum an Bauteilen zeichnen dieses Lichtrelais aus. Es arbeitet in Dunkelschaltung, eignet sich also für Lichtschranken.



Verstärkerröhre Rö und Fotozelle F arbeiten mit Wechselstrom, von dem also jeweils diejenige Halbwelle wirksam wird, bei der die Anode positiv ist. Für diese Halbwelle wird die Wirkungsweise betrachtet. Die Gitterspannung der Röhre wird mit dem Spannungsteiler R 2 so eingestellt, daß der höchstzulässige Anodenstrom fließt und das Relais angezogen ist, wenn die Fotozelle abgedunkelt oder mit der gewünschten Grenzhel-

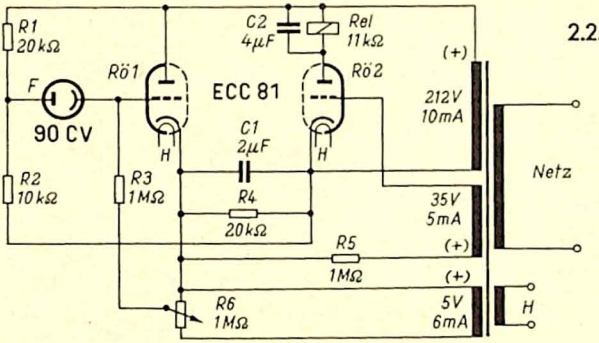
ligkeit beleuchtet ist. Steigt die Beleuchtungsstärke über diesen Wert, dann erzeugt der Fotostrom im Widerstand R 1 eine so hohe negative Spannung am Gitter der Röhre, daß der Anodenstrom so weit herabgesetzt wird, daß das Relais abfällt. Beim Betrieb als Lichtschranke fließt also nur der Ruhestrom der Röhre, solange der Lichtstrahl die Fotozelle trifft. Wird er unterbrochen, spricht das Relais an.

2.2.2 Lichtrelais mit Doppelröhren-Verstärker

Bei einer Beleuchtung der Fotozelle mit ausreichender Stärke zieht das Relais an.

Solange die Fotozelle F unbeleuchtet ist, erhält das Steuergitter der Röhre Rö 1 die am Spannungsteiler R 6 abgegriffene Wechselspannung in der Größenordnung von 5 V. Sie ist stets gegenphasig zur Anodenspannung, so daß kein Anodenstrom fließt. Das Röhrensystem Rö 2 ist auf die gleiche Weise während der positiven Halbwellen an der Anode durch die an seinem Steuergitter liegende gegenphasige Spannung von 35 V gesperrt; das Relais Rel bleibt stromlos.

Fällt Licht auf die Fotozelle, dann fließt bei jeder positiven Halbwelle ein Fotostrom durch die Zelle und den Widerstand R 3. Dieser Strom ist so gerichtet, daß das Gitter der Röhre Rö 1 immer dann aufgesteuert wird, wenn die Anode positiv ist. Somit fließt während jeder positiven Halbwelle ein Anodenstrom, der im Katodenwiderstand R 4 einen Spannungsabfall erzeugt.



Diese Halbwellenspannung wird durch den Kondensator C 1 geglättet; an dem Widerstand steht also praktisch eine Gleichspannung, die nun auch die Röhre Rö 2 aufsteuert. Deren Anodenstrom bringt das Relais Rel zum Ansprechen.

Die richtige Phasenlage der einzelnen Spannungen zueinander, wie im Schaltbild angedeutet, muß eingehalten werden. Der Wickelsinn und die Anschlüsse der Wicklungen sind also zu beachten.

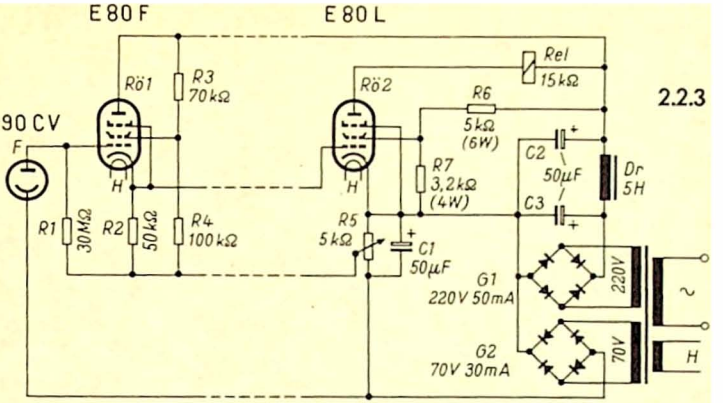
Diese Schaltung ist auch als Flammenwächter geeignet (vgl. 1.4.1).

2.2.3 Lichtrelais mit Impedanzwandler für abgesetzten Tastkopf

Die vom Fotostrom einer Fotozelle erzeugte Steuerspannung ist der Größe des Arbeitswiderstandes proportional. Ein hochohmiger Kreis verlangt jedoch eine gute Isolation und niedrige Kapazität. Deshalb ist es nicht ohne weiteres möglich, eine Fotozelle über eine längere Kabelleitung mit einem Verstärker zu verbinden. Ist dies aus irgendwelchen Gründen erforderlich, so muß ein Impedanzwandler zwischengeschaltet werden. Als solcher eignet sich ein Katodenverstärker.

Die Katode der Fotozelle F erhält eine negative Vorspannung von etwa 90 V, die der Gleichrichter G 2 aus der 70-V-Wicklung des Netztransformators erzeugt. An dem sehr hohen Widerstand R 1 entsteht bereits bei schwacher Beleuchtung der Fotozelle eine hohe Sperrspannung für das Gitter der Röhre Rö 1. An deren Katode ist die Zuleitung zum Gitter der abgesetzt angeordneten Endstufe angeschlossen. Obgleich dieser Kreis verhältnismäßig niederohmig ist, empfiehlt es sich, ein abgeschirmtes Kabel mit geringer Kapazität zu verwenden. Über weitere Adern dieses Kabels werden dem Tastkopf mit Fotozelle und Katodenverstärker auch die Fotozellen-Vorspannung und die Heiz- und Anodenspannung für die Röhre zugeführt.

Da die Spannungsverstärkung der Katodenstufe kleiner als eins ist, wird eine Leistungsröhre mit hoher Steilheit nachgeschaltet, die in einer Stufe die notwendige Verstärkung und ausreichend hohen Strom zum Betrieb des Relais ergibt. Der richtige Arbeitspunkt der Röhre wird mit dem Spannungsteiler R 5, der an der 90-V-Spannung liegt, eingestellt.



Solange die Fotozelle beleuchtet ist, sperrt die am Gitterwiderstand R 1 stehende negative Spannung die Röhre Rö 1. Eine geringe Abnahme des Fotostromes durch Verminderung der Beleuchtung hat bei dem hohen Widerstandswert einen starken Rückgang der Sperrspannung zur Folge. Sobald die Röhre Rö 1 aufgesteuert wird, erzeugt der Katodenstrom am oberen Ende des Widerstandes R 2 eine positive Spannung, die das Gitter der Röhre Rö 2 steuert. Deren Anodenstrom bringt das Relais Rel zum Ansprechen.

Der große Wert des Widerstandes R 1 verlangt eine hohe und gleichbleibende Isolation im Fotozellenkreis und im Gitterkreis der Röhre Rö 1. Dazu gehört auch ein einwandfreies Vakuum der Röhre. Als Fotozelle ist nur eine Vakuumzelle geeignet.

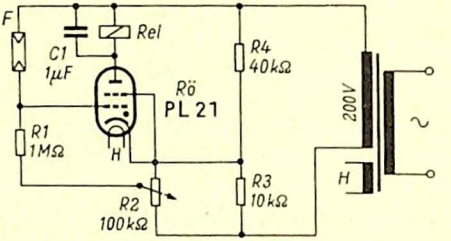
2.3 Lichtrelais mit Thyratron-Schaltverstärkern

Bei Thyratronen genügt ein Spannungsanstieg von einigen Zehntel Volt am Steuergitter, um den Anodenstrom von Null auf seinen vollen Wert zu bringen. Die von einer Fotozelle gelieferte geringe Steuerenergie reicht aus, um die exakte Zündung auszulösen. Da Thyratrone als gesteuerte Gleichrichter wirken, können mit ihnen Gleichstrom-Relais betrieben werden. Von besonderem Vorteil ist zudem, daß außer der Katodenheizung kein Ruhestrom fließt, der Arbeitsstrom verhältnismäßig hoch und der Innenwiderstand niedrig ist.

2.3.1 Lichtrelais für Hellschaltung mit Fotowiderstand

Diese Schaltung ist so ausgelegt, daß das Relais anzieht, wenn der Fotowiderstand ausreichend hell beleuchtet ist. Das Relais fällt dagegen ab, wenn die Beleuchtungsstärke einen Mindestwert unterschreitet.

Die gesamte Anordnung wird mit Wechselstrom betrieben. Dabei könnte die Anodenspannung auch unmittelbar aus dem Netz entnommen werden. Lediglich für die Heizspannung der Thyratronröhre ist ein kleiner Transformator notwendig. Während jeder Halbwelle der Wechselspannung, in der die Anode des Thyratrons positiv ist, hat das Gitter eine gegenüber der Katode negative Vorspannung, solange der Fotowiderstand F nicht oder nur gering beleuchtet ist und einen Widerstandswert von einigen Megohm hat. Mit dem Potentiometer R 2 wird die Gittervorspannung und damit der Ansprechwert eingestellt.



2.3.1

Bei Anstieg der Helligkeit sinkt der Wert des Fotowiderstandes F, unter Umständen bis in die Größenordnung von einigen Kiloohm. Das Teilerverhältnis des Spannungsteilers, den der Fotowiderstand F und der Widerstand R 1 bilden, ändert sich entsprechend. Dadurch steigt die am Widerstand R 1 abgegriffene Spannung ins positive Gebiet. Das Thyratron zündet, und das Relais Rel zieht an. Der Zündvorgang wiederholt sich bei jeder positiven Halbwelle der Anodenspannung, solange der Fotowiderstand entsprechend beleuchtet ist. Da nur jeweils in einer Halbwelle Strom durch das Relais fließt, würde es ohne besondere Maßnahme schnarren. Der Parallelkondensator C 1 glättet den pulsierenden Strom so weit, daß ein normales Relais ausreichend ruhig ist.

Weil das Thyratron in jeder negativen Halbwelle löscht, sind bei Wechselstrombetrieb keine zusätzlichen Mittel erforderlich, um die Entladung zu unterbrechen, wenn die Steuerspannung am Gitter ausbleibt. Sinkt die Beleuchtung unter den vorgegebenen Schwellwert und damit die Gitterspannung des Thyratrons unter die Zündspannung, so bleibt es von der nächstfolgenden negativen Halbwelle an gelöscht. Der Anker des Relais fällt ab.

Durch Vertauschen des Fotowiderstandes F und des Widerstandes R 1, dessen Wert nötigenfalls vergrößert werden muß, kann die Anordnung auf Dunkelschaltung umgestellt werden. Das Relais zieht dann bei Abdunkelung an.

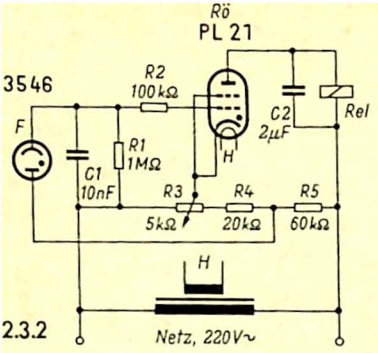
Da Fotowiderstände eine verhältnismäßig flach verlaufende Kennlinie haben und in dieser Schaltung das Thyratron direkt gesteuert wird, sind erhebliche Helligkeitsunterschiede nötig, um das Relais zum Ansprechen zu bringen.

2.3.2 *Lichtrelais für Hellschaltung mit Fotozelle*

Bei steigender Beleuchtung wird der Anker des Relais angezogen.

Fotozelle und Thyratron werden hier direkt aus dem Wechselstromnetz betrieben. Lediglich für die Röhrenheizung ist ein kleiner Transformator vorgesehen. Für den Betrieb des Relais wird die Gleichrichterwirkung der Röhre ausgenutzt. Abgesehen von der Einfachheit des Aufbaues hat der Wechselstrombetrieb den Vorteil, daß das Thyratron löscht, wenn seine Gitterspannung die Zündspannung unterschreitet. Bei Gleichstrombetrieb würde die Entladung weitergehen, bis der Anodenstrom durch ein zusätzliches Mittel unterbrochen wird.

In der vorliegenden Schaltung bekommt die Katode des Thyratrons durch Abgriff am Spannungsteiler-Widerstand R 3 eine gegenüber der Steuerelektrode positive Spannung. (Alle Betrachtungen beziehen sich auf die positive Halbwelle der Netzspannung an der Anode.) Dadurch ist das Thyratron gesperrt. Die Fotozelle F erhält eine positive Saugspannung durch Abgriff am Spannungsteiler zwischen den Widerständen R 4 und R 5. Bei Beleuchtung fließt ein Fotostrom. Er erzeugt am Gitter des Thyratrons eine positive Spannung, die mit der Beleuchtungsstärke wächst. Sobald sie so groß ist, daß sie die Vorspannung



2.3.2

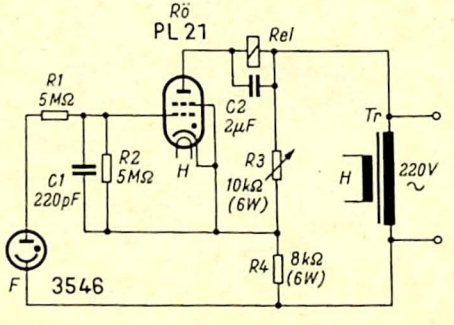
der Katode aufhebt, zündet das Thyratron. Der Anodenstrom betätigt das Relais Rel. Der diesem parallelgeschaltete Kondensator C 2 puffert den Halbwellenstrom, so daß das Relais brummfrei arbeitet.

Der Ansprechwert dieses Lichtrelais wird durch Einstellen der Katodenspannung des Thyratrons mit dem Widerstand R 3 gewählt. Die gasgefüllte Fotozelle gibt dem Gerät eine hohe Empfindlichkeit, deren Höchstwert bei dem verwendeten Typ im Infrarotbereich liegt. Die Empfindlichkeit ist jedoch auch im Bereich des sichtbaren Lichtes noch so hoch, daß das Gerät auf den Schein einer Taschenlampe aus 15 m Entfernung anspricht.

2.3.3 Lichtrelais für Dunkelschaltung mit Fotozelle

In dieser Schaltung zieht das Relais an, wenn der die Fotozelle treffende Lichtstrahl unterbrochen wird.

Das Potential der Katode und der Steuerelektrode des Thyratrons ist in bezug auf die negative Seite der Netzspannung durch den Abgriff am Spannungsteiler R 3/R 4 angehoben. Die unmittelbar an der Netzspannung liegende Fotozelle F ist somit gegenüber der Röhre negativ vorgespannt. Der Fotostrom erzeugt am



2.3.3

Widerstand R 2 einen Spannungsabfall, der das Thyratron sperrt, solange die Zelle ausreichend beleuchtet ist. Wird der Lichtstrahl unterbrochen, so hört der Fotostrom auf, und die Steuerelektrode erhält das Potential der Katode, das Thyratron zündet, und das Relais zieht an.

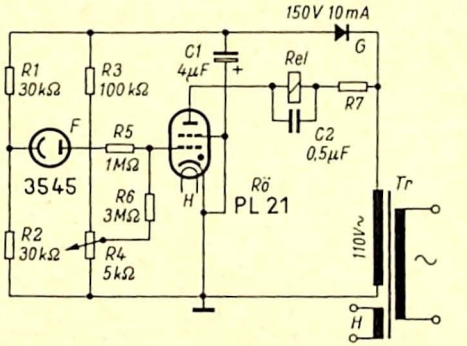
Der Ansprechwert wird durch Verändern der Vorspannung mit dem Widerstand R 3 eingestellt.

Der Kondensator C 2 verhindert Schnarren des Relais infolge des nur in einer Halbwelle gleichgerichteten Wechselstromes. Der Kondensator C 1 ergibt zusammen mit dem Gitterwiderstand R 2 ein Zeitglied, durch das kurzzeitige Schwankungen der Beleuchtungsstärke unwirksam gemacht werden.

2.3.4 Lichtrelais für Dunkelschaltung mit Gleichstrom-Steuerung

Auch bei dieser Schaltung fließt ein Arbeitsstrom, wenn die Fotozelle nicht oder nur schwach beleuchtet ist. Dagegen fällt das Relais ab, wenn die Beleuchtungsstärke den Schwellwert überschreitet.

Der Schaltkreis wird mit Wechselstrom betrieben, während der Steuerkreis mit Gleichstrom arbeitet. Der Gleichrichter G erzeugt eine negative Spannung, die der Ladekondensator C 1 glättet. Die Hälfte dieser Spannung, am Teiler R 1/R 2 abgegriffen, liegt an der Katode der Fotozelle F. Bei Lichteinfall erzeugt der Fotostrom am Widerstand R 6 eine negative Vorspannung für die Steuerelektrode des Thyratrons. Dadurch wird dieses gesperrt.



2.3.4

Wird der Lichtstrahl unterbrochen. so hört der Fotostrom auf und das Gitter des Thyratrons hat gegenüber seiner Katode nur noch eine Vorspannung in der Größenordnung von -1 V, die am Spannungsteilerwiderstand R 4 abgegriffen ist. Jetzt zündet das Thyratron in jeder Halbwelle, bei der die Anode positiv ist. Der Anodenstrom durchfließt das Relais Rel und lädt in jeder leitenden Halbwelle den Kondensator C 2 auf. Er entlädt sich in der anderen Halbwelle über das Relais, so daß der Anker auch während dieser Zeit festgehalten wird.

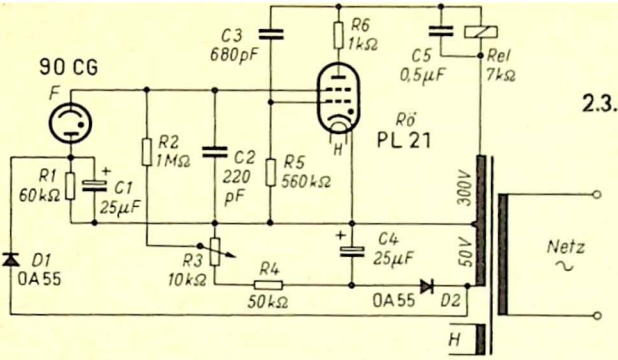
Die Ansprechempfindlichkeit kann mit dem Widerstand R 4 eingestellt werden. Sie läßt sich verhältnismäßig hoch treiben, da die Anordnung recht stabil arbeitet.

2.3.5 Lichtrelais für Hellschaltung mit Gleichstrom-Steuerung

Entsprechend der Schaltung 2.3.4 arbeitet die vorliegende Anordnung mit Gleichspannungs-Steuerung, aber mit Wechselstrom im Schaltkreis. Die Schaltung ist jedoch so ausgelegt, daß das Relais anzieht, wenn die Fotozelle beleuchtet wird.

Die Gleichspannung für die Fotozelle und für die Vorspannung des Thyratrons werden aus einer besonderen 50-V-Wicklung des Netztransformators gewonnen und zwar, da beide die entgegengesetzte Polarität haben müssen, mit getrennten Gleichrichtern. Die Diode D 1 liefert die positive Spannung für die Fotozelle F, wobei der Kondensator C 1 als Lade- und Siebkondensator wirkt. Die negative Spannung für die Steuerelektrode des Thyratrons erzeugt die Gleichrichterdiode D 2 mit dem Ladekondensator C 4. An dem Spannungsteilerwiderstand R 3 wird die benötigte Spannung abgegriffen. Da diese nur wenige Volt beträgt, könnte sie auch aus einer niedrigeren Wechselspannung, beispielsweise aus der Heizspannung, gewonnen werden.

Bei Beleuchtung der Fotozelle wirkt die vom Fotostrom am Widerstand R 2 erzeugte Spannung, die positiv gerichtet ist, der negativen Vorspannung vom Abgriff am Widerstand R 3 entgegen. Dadurch wird bei genügender Größe des Fotostromes das Potential des hier als Steuerelektrode wirkenden zweiten Gitters so hoch, daß das Thyratron Rö zündet. Der Anker des Relais Rel wird angezogen. Der Parallelkondensator C 5 verhindert Schnarren des Relais.



In jeder negativen Halbwelle der Wechselspannung löscht das Thyratron wieder. Damit es, solange die Fotozelle beleuchtet ist, bei jeder folgenden positiven Halbwelle mit Sicherheit erneut zündet, wird dem ersten Gitter des Thyratrons eine Wechselspannung zugeführt, die der Spannung an der Anode um fast 90° vorauseilt. Diese erzeugt der aus dem Kondensator C 3 und dem Widerstand R 5 bestehende Phasenschieber, in dem der Blindwiderstand der Kapazität C 3 groß gegen den Widerstandswert von R 5 ist.

Die Vorspannung am zweiten Gitter des Thyratrons wird mit dem Abgriff des Spannungsteilerwiderstandes R 3 so eingestellt, daß das Thyratron eben löscht, wenn die Fotozelle unbeleuchtet ist oder mit derjenigen Helligkeit angeleuchtet ist, bei deren Überschreiten das Lichtrelais schalten soll.

2.3.6 Lichtrelais mit Vorverstärker

Die Ansprechempfindlichkeit eines Lichtrelais mit Thyratron-Schaltstufe läßt sich durch einen vorgeschalteten Gleichstromverstärker steigern, wie es die folgende Schaltung zeigt. Sie ist so ausgelegt, daß das Relais anzieht, wenn die Beleuchtungsstärke abnimmt.

Die Schaltstufe wird in bekannter Weise mit Wechselstrom direkt aus dem Netz betrieben. Die Verstärkerstufe und der Fotozellenkreis werden mit Gleichstrom gespeist. Dieser wird über den Brückengleichrichter G der Sekundärwicklung des Netztrans-

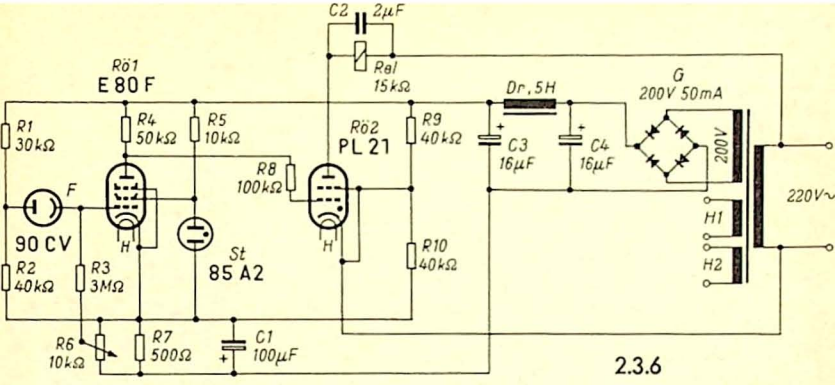
formators entnommen und durch die Siebkette aus den Kondensatoren C 4 und C 3 mit der Drossel Dr geglättet. In der Minusleitung liegt der Widerstand R 7. Ein Teil des daran entstehenden Spannungsabfalls wird an dem ihm parallel liegenden Teiler R 6 abgegriffen; dieser Teil bildet die negative Gittervorspannung der Verstärkerröhre Rö 1.

Die Vakuumfotozelle F erhält aus dem Spannungsteiler R 1/R 2 eine positive Vorspannung. Der Fotostrom ist also so gerichtet, daß der Spannungsabfall am Widerstand R 3 der Spannung entgegenwirkt, die am Spannungsteiler R 6 abgegriffen wird und die gegenüber der Katode der Röhre Rö 1 negativ ist. Mit zunehmender Beleuchtungsstärke steigen demnach der Anodenstrom der Röhre Rö 1 und der Spannungsabfall am Anodenwiderstand R 4.

Bei Beleuchtung der Fotozelle ist also die Spannung an der Anode der Röhre Rö 1 und an dem damit galvanisch verbundenen Steuergitter des Thyratrons Rö 2 niedrig. Die Katode des Thyratrons ist durch die am Spannungsteiler R 9/R 10 abgenommene Spannung auf so hohes positives Potential gelegt, daß das Thyratron gesperrt ist, solange dieser Zustand erhalten bleibt.

Verringert sich die Beleuchtungsstärke der Fotozelle, so sinkt die Spannung am Gitter der Röhre Rö 1 und die am Gitter des Thyratrons Rö 2 steigt. Wird die zum Zünden erforderliche Spannung erreicht, dann zündet das Thyratron bei jeder an der Anode positiven Halbwelle der Wechselspannung, und es fließt ein Halbwellengleichstrom durch das Relais Rel. Er wird durch den Pufferkondensator C 2 so weit geglättet, daß der Anker angezogen wird.

Überschreitet hiernach die Beleuchtung den Schwellwert, so bleibt das Thyratron von der nächsten Halbwelle an wieder gelöscht. Bei Gleichstrombetrieb des Thyratrons müßte die Anodenspannung durch eine besondere Maßnahme unterbrochen werden, weil das Thyratron nur löscht, wenn die Bogenspannung unterschritten, nicht aber wenn die Spannung am Gitter stark negativ wird. Außerdem hat die Speisung des Thyratrons direkt aus dem Netz den Vorteil, daß der Gleichstromversorgungsteil nur für die geringe Leistungsaufnahme des Vorverstärkers bemessen zu sein braucht.



Da diese Anordnung eine sehr hohe Empfindlichkeit hat, sind eine gute Siebung der Anodenspannung und die Stabilisierung der Schirmgitterspannung durch den Glimmstabilisator St notwendig, um ausreichende Konstanz der Betriebswerte zu erreichen. Aus dem gleichen Grunde wird auch eine Vakuum-Fotozelle verwendet, trotz ihrer gegenüber einer gasgefüllten Zelle geringeren Empfindlichkeit. Diese läßt sich zwar durch Vergrößern des Arbeitswiderstandes R 3 erhöhen, doch sind dem durch die Isolation dieses Stromkreises Grenzen gesetzt, insbesondere durch den Isolationswiderstand der Gitter-Katoden-Strecke der Röhre.

Der vorgesehene Röhrentyp E 80 F kann allerdings auf einfache Weise als Elektrometerröhre betrieben werden, indem die Heizspannung auf 4,5 V und die Schirmgitter- und Anodenspannung auf etwa 40 V herabgesetzt werden. Dann sind Gitterwiderstände von einigen hundert Megohm möglich, die eine sehr hohe Ansprechempfindlichkeit ergeben.

2.4 Lichtrelais mit Kaltkatoden-Röhren

Kaltkatodenröhren benötigen keine Heizleistung und haben praktisch keinen Leerlaufstrom. Sie eignen sich deshalb besonders für alle Schaltaufgaben, bei denen eine dauernde Bereitschaft verlangt wird. Kaltkatodenröhren haben eine so hohe Ansprechempfindlichkeit, daß sie mit Fotozellen und Fotowider-

ständen unmittelbar gesteuert werden können. Der Schaltstrom reicht aus, um auch größere Relais zu betätigen.

Da Kaltkatodenröhren in den Schaltpausen stromlos sind und die zugehörigen Schaltelemente kaum belastet werden, ist die Abnutzung gering und die Lebensdauer hoch. Mit ihnen ausgerüstete Geräte können jahrelang ohne Wartung betriebsbereit sein. Deshalb eignen sie sich vorzüglich für alle Überwachungsaufgaben, wie z. B. Einbruchsicherung, Feuermelder, auch Dämmerungsschalter und ähnliches, besonders bei Verwendung an schwer zugänglichen Orten.

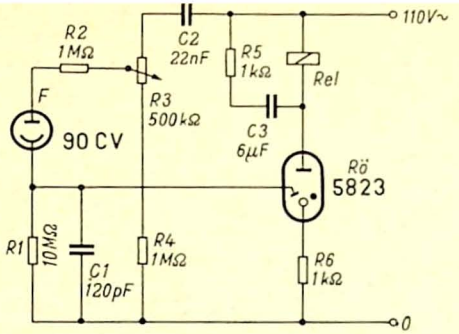
2.4.1 Lichtrelais mit Hellschaltung

Dieses Lichtrelais arbeitet in Hellschaltung; das Relais spricht an, wenn die Fotozelle beleuchtet wird.

Zum Betrieb wird Wechselspannung von 110 V verwendet, die dem Netz, gegebenenfalls über einen Spartransformator, entnommen wird. Die Schaltung arbeitet mit den Halbwellen, bei denen die Anode der Relaisröhre positiv wird. Für diese wird die Wirkungsweise betrachtet.

Solange kein Licht auf die Fotozelle F fällt, diese also nicht leitend ist, fließt kein Strom, und die Zündelektrode der Kaltkatodenröhre hat dasselbe Potential wie die Katode. Die Röhre kann nicht zünden. Bei Beleuchtung erzeugt der Fotostrom am Widerstand R 1 eine positiv gerichtete Spannung. Allerdings genügt es nicht, die Zündspannung der Kaltkatodenröhre zu erreichen, um die Entladung einzuleiten. Dazu ist ein Strom von etwa 50 µA erforderlich, den der hochohmige Fotozellenkreis nicht liefern kann. Deshalb ist der Speicherkondensator C 1 vorgesehen. Er lädt sich bei jeder positiven Halbwelle der Betriebsspannung auf. Beim Erreichen der Zündspannung liefert er die für die Ionisierung erforderliche Elektrizitätsmenge. Solange die Beleuchtung der Fotozelle anhält, wiederholt sich dieser Vorgang bei jeder Halbwelle.

Der auf diese Weise in Halbwellen gleichgerichtete Anodenstrom der Kaltkatodenröhre durchfließt das Relais Rel, das somit anzieht. Der dem Relais parallelgeschaltete Kondensator C 3 glättet den Strom so weit, daß der Anker nicht klappert oder schnarrt. Damit keine Überspannungen durch die hohe Induk-



2.4.1

tivität der Relaiswicklung erzeugt werden können, liegt der Widerstand R 5 in Reihe mit dem Kondensator, er dämpft Schwingungen, die in dem aus der Wicklung des Relais und dem Kondensator C 3 gebildeten Schwingungskreis entstehen könnten.

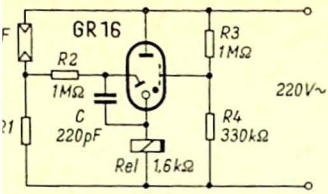
Die Ansprechempfindlichkeit der Anordnung wird mit dem Widerstand R 3 eingestellt. Er greift die Vorspannung der Fotozelle an dem aus dem Kondensator C 2 und den Widerständen R 3 und R 4 bestehenden Spannungsteiler ab.

In jeder negativen Halbwelle der Wechselspannung löscht die Kaltkatodenröhre. Sie bleibt stromlos, wenn die Beleuchtung der Fotozelle inzwischen aufgehört hat. Bei Betrieb mit Gleichstrom müßte die Anodenspannung unterbrochen oder wenigstens herabgesetzt werden, da die einmal eingeleitete Entladung auch dann bestehen bleibt, wenn die Zündspannung an der Zündelektrode unterschritten wird.

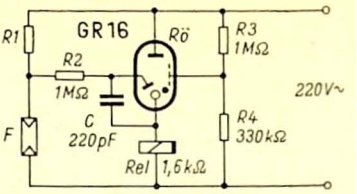
2.4.2 *Lichtrelais mit Schaltintervall*

Das Relais zieht bei der Schaltung 2.4.2.1 an, wenn der Fotowiderstand beleuchtet wird, bei der genau entsprechenden und gleich dimensionierten Schaltung 2.4.2.2, wenn der Lichtstrahl unterbrochen wird.

Als Betriebsspannung wird die Netzspannung von 220 V ~ verwendet. In derjenigen Halbwelle der Wechselspannung, bei der die Anode der Kaltkatodenröhre positiv ist, arbeitet diese als Halbwellengleichrichter, so daß das Relais nur in einer Richtung vom Strom durchflossen wird.



2.4.2.1



2.4.2.2

Durch Beleuchtung sinkt, durch Abdunkelung steigt der Widerstandswert des Fotowiderstandes F. Entsprechend verschiebt sich die Spannung an der Starterelektrode der Kaltkatodenröhre. Diese Spannung wird von dem Spannungsteiler abgegriffen, den der Fotowiderstand F und der Widerstand R 1 bilden. Erreicht die Spannung den Wert der Zündspannung der Röhre, so zündet diese. Der Kondensator C liefert die dazu erforderliche Elektrizitätsmenge, die über die hochohmigen Widerstände nicht schnell genug nachfließen kann.

Der Zündvorgang wiederholt sich periodisch bei allen positiven Halbwellen der Netzspannung. Wenn der Strom am Ende jeder dieser Halbwellen aufhört zu fließen, erzeugt das Relais Rel, das durch eine Kurzschlußwicklung abfallverzögert ist, eine Induktionsspannung, die die Katode gegenüber dem Nullbezugspunkt der Schaltung negativ macht. Diese Spannung klingt nur langsam ab. Am Anfang der nächsten positiven Halbwelle hat deshalb die Starterelektrode gegenüber der negativ vorgespannten Katode eine leicht erhöhte Spannung. Die Röhre zündet mit Sicherheit auch dann noch, wenn die Steuerspannung von der Fotozelle her aus irgendeinem Grund etwas niedriger sein sollte. Das Relais bleibt also angezogen.

Um die Röhre zum dauernden Löschen und das Relais zum Abfall zu bringen, muß die Steuerspannung um mehr als die Zusatzspannung unter die Starterzündspannung gesenkt werden. Die Übergänge der Schaltzustände erfolgen also bei zwei verschiedenen Werten der Steuerspannung. Dadurch wird besonders bei sich sehr langsam ändernder Beleuchtung (z. B. bei Dämmerungsschaltern) ein dauerndes Ein- und Ausschalten verhindert, das sonst durch Schwankungen der Netzspannung, Änderung

der Werte von Schaltelementen infolge Erwärmung und dergleichen verursacht werden kann.

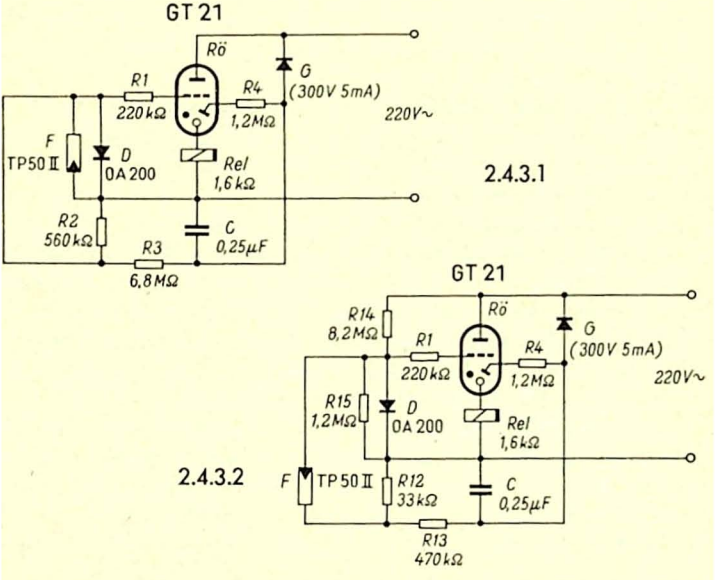
Durch die Größe des Widerstandes R 1, die je nach verwendetem Fotowiderstand zwischen 300 kΩ und 3 MΩ liegt, kann die Ansprechempfindlichkeit variiert werden.

Die Wandelektrode der Kaltkatodenröhre ist durch die am Spannungsteiler R 3/R 4 abgegriffene Spannung auf ein definiertes Potential gelegt.

2.4.3 *Lichtrelais mit Schaltintervall mit Fotodiode*

Dieses Schaltungspaar für Hell- und Dunkelschaltung ist zum Überwachen bzw. zum Auslösen von Schaltvorgängen durch langsam verlaufende Helligkeitsänderungen geeignet. Der Unterschied zwischen den Ein- und Ausschaltpunkten ist vom Relais und von der Betriebsspannung abhängig.

Als lichtelektrischer Wandler wird die Fotodiode F benutzt, die oberhalb der Sättigungsspannung betrieben wird. Sie wirkt als variabler Widerstand im Gitterkreis der Kaltkatodenröhre.



Je nach Beleuchtung verändert sich dadurch die Steuerspannung. Ist diese genügend weit positiv, zündet die Röhre und das Relais zieht an.

Das Schaltintervall wird so wie bei 2.4.2 beschrieben durch das Verzögerungsrelais in der Katodenleitung erzeugt. Da bei gezündeter Röhre das Steuergitter auf ein Potential von rund + 100 V gegenüber der Katode kommt, gefährdet diese hohe Spannung die Fotodiode. Sie wird deshalb durch die Diode D geschützt, die in ihrer Durchlaßrichtung die gefährliche Spannung kurzschließt.

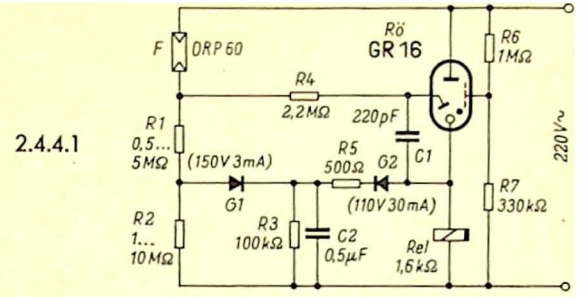
Bei der Schaltung 2.4.3.1 zieht das Relais bei einer bestimmten Stärke der Beleuchtung der Fotodiode an und fällt bei einem kleineren Wert wieder ab (Hellschaltung). Bei der Schaltung 2.4.3.2 fällt bei einem bestimmten Lichtstrom das Relais ab und zieht bei einem geringeren wieder an (Dunkelschaltung).

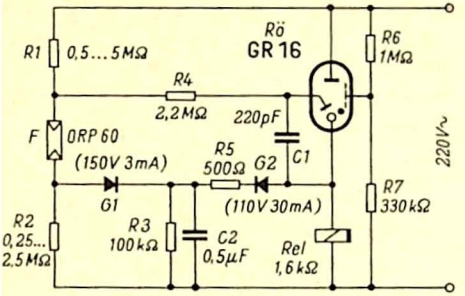
2.4.4 Lichtrelais mit elektronischer Intervallschaltung

Die Schaltungen 2.4.4.1 und .2 stellen Weiterentwicklungen der beiden vorhergehenden Schaltungen dar. Sie zeichnen sich dadurch aus, daß das Intervall zwischen dem Einschalt- und dem Ausschaltwert vergrößert und in einem gewissen Bereich wählbar ist.

Die Kaltkatodenröhre Rö wird von dem Spannungsteiler her gesteuert, den der Fotowiderstand F und der Widerstand R 1 bilden. Je nach Lage des Fotowiderstandes ergibt sich Hellschaltung oder Dunkelschaltung.

Das Schaltintervall wird durch elektronisches Zu- oder Abschalten des Widerstandes R 2 im Steuerkreis erzeugt. Als elektronischer Schalter wirkt der Gleichrichter G 1. Er wird durch die Spannung, die bei gezündeter Röhre am Relais Rel abfällt, so gesteuert, daß er bei diesem Schaltzustand den Widerstand R 2 kurzschließt. Die Spannung am Relais Rel wird durch den Gleichrichter G 2 gleichgerichtet und vom Kondensator C 2 geglättet. Die Größe des Intervalls zwischen dem Ein- und dem Ausschaltpunkt kann durch Verändern der Größe des Widerstandes R 2 eingestellt werden. Damit kann bei der Hellschaltung ein Verhältnis von 1 : 3, bei der Dunkelschaltung von 1 : 1,7 bis 1 : 4 erreicht werden. Bei der Hellschaltung ist diese Spanne von



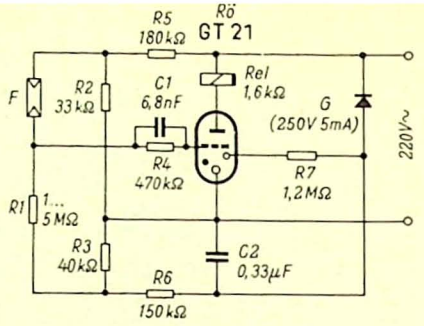


der Netzspannung unabhängig, bei der Dunkelschaltung wächst die Spannungsabhängigkeit mit größerwerdendem Wert des Widerstandes R 2.

2.4.5 Lichtrelais mit Schaltintervallerzeugung durch RC-Glied

Das Schaltbild zeigt die Ausführung als Hellschalter. Dunkelschaltung erhält man durch Tauschen des Fotowiderstandes F mit dem Widerstand R 1.

Die Kaltkatodenröhre Rö wird durch Verschieben der Spannung am Abgriff des Spannungsteilers gesteuert, wenn sich die Beleuchtung des Fotowiderstandes ändert. Bei jedem Zünden der Röhre während der an der Anode positiven Phasen der Netzspannung lädt sich der Kondensator C 1 durch die dabei stark positive Spannung am Gitter auf. Diese Ladung fließt über den parallelgeschalteten Widerstand R 4 nur langsam ab. Deshalb bleibt am Gitter bis zu der folgenden positiven Halbwelle eine restliche Vorspannung, so daß die Zündung mit Sicherheit



2.4.5

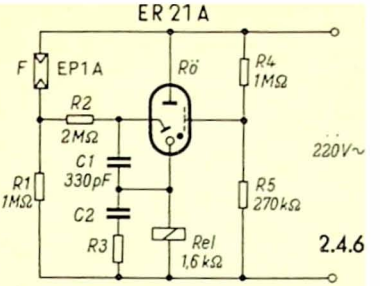
einsetzt, auch wenn die Steuerspannung jetzt etwas niedriger ist. Damit die Röhre bei starken Beleuchtungsänderungen nicht wieder zündet und das Relais abfällt, muß die Steuerspannung, also die Beleuchtungsstärke, um einen merklichen Betrag kleiner sein als die zum Einschalten benötigte. Dieses Schaltintervall wird im wesentlichen von der Größe des Kondensators C 1 und des Widerstandes R 4 bestimmt.

2.4.6 Lichtrelais mit Schaltintervallerzeugung durch Schwingkreis

Auch bei schleichendem Anstieg der Beleuchtungsstärke spricht bei dieser Schaltung das Relais nicht unsicher und flackernd an, sondern schaltet bei erstmaligem Erreichen des Schwellwertes sauber ein, und bei einem niedrigerliegenden Wert wieder aus.

Die Zündung der Kaltkatoden-Relaisröhre Rö wird durch den Fotowiderstand F gesteuert. Bei der ersten positiven Halbwelle der Wechselspannung nach dem Erreichen der Zündspannung fließt Katodenstrom, der das Relais betätigt. Die Induktivität der Relaiswicklung bildet zusammen mit dem Kondensator C 2 und dem Widerstand R 3 einen Schwingkreis. In ihm entsteht, wenn der Strom am Ende der positiven Halbwelle abreißt, eine gedämpfte Schwingung. Die Ladung des Kondensators liefert während der Sperrperiode die Energie zum Halten des Relais. Die Eigenfrequenz des Kreises ist so ausgelegt, daß die Katode, die beim Löschen der Röhre positiv war, gerade in der Mitte der Sperrperiode, wenn die Sperrspannung ihren Höchstwert erreicht hat, negativ ist. Da bei dieser Bemessung auch dann noch

eine negative Spannung an der Katode liegt, wenn die nächste positive Halbwelle der Betriebsspannung beginnt, wird die Wiederzündung erleichtert, weil der Spannungsunterschied zwischen Katode und Starterelektrode entsprechend vergrößert ist.



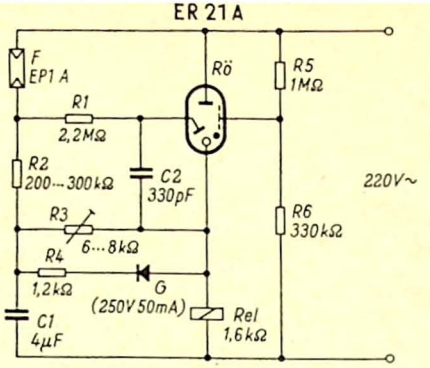
Der Widerstand R 3 muß so groß sein, daß hohe Spitzenströme in der Röhre vermieden werden, er darf aber die Schwingung nicht zu stark dämpfen. Die Größe der Kapazität des Kondensators C 2 richtet sich nach der Induktivität der Relaiswicklung. Es ist am zweckmäßigsten, die Dimensionierung der Schaltelemente experimentell zu ermitteln. Dazu wird der Widerstand R 3 auf einen Wert von 1,5 kΩ eingestellt und der Kondensator C 2, bei kleinen Werten beginnend, stufenweise bis etwa 2 bis 3 µF vergrößert, dabei wird der Wert von R 3 nachgestellt. Endgültig gewählt werden der kleinstmögliche Wert des Kondensators und der dazugehörige Widerstand von R 3, bei denen das Relais sauber und brummfrei anzieht und abfällt, wenn die Beleuchtung des Fotowiderstandes langsam geändert wird.

Auch bei Netzspannungsschwankungen von + 10 / – 20 % soll die Schaltung noch einwandfrei arbeiten. Bei Nennspannung muß der Anodenstrom zwischen 20 und 25 mA – mit einem Gleichstrominstrument gemessen – liegen, wenn der Fotowiderstand kurzgeschlossen wird.

2.4.7 Lichtrelais mit einstellbarem Schaltintervall

Dieses Lichtrelais arbeitet in Hellschaltung mit einem einstellbaren Intervall zwischen der Helligkeit, bei der das Relais anzieht, und derjenigen, bei der es abfällt.

Die Kaltkatodenröhre Rö zündet, wenn durch Beleuchtung des Fotowiderstandes F die vom Teiler F/R 2 abgegriffene Spannung die erforderliche Höhe erreicht. Das Relais zieht an. Der Katodenstrom erzeugt bei jeder positiven Halbwelle des Wechselstromes einen Spannungsabfall an der Relaiswicklung. Durch diese Span-



2.4.7

nung wird über den Gleichrichter G und den Widerstand R 4 der Kondensator C 1 aufgeladen. Während der stromlosen Halbwelle kann die Ladung nicht über den Gleichrichter zurückfließen, sondern nur über den Widerstand R 3. Diese Entladung erfolgt so langsam, daß bei Beginn der nächsten positiven Halbwelle der Kondensator C 1 noch ein erhebliches positives Potential hat, das über die Widerstände R 2 und R 1 auch an der Starterelektrode liegt.

Es genügt deshalb eine entsprechend kleinere Steuerspannung, um die Röhre wieder zu zünden. Das heißt, daß das Relais angezogen bleibt, auch wenn sich die Beleuchtung geringfügig vermindert hat oder kleine Spannungsänderungen eingetreten sind.

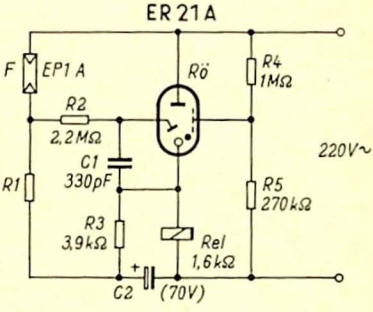
Die Abfallverzögerung des Relais ist durch eine Kurzschlußwindung so bemessen, daß der Anker wenigstens über eine Periode angezogen bleibt. Der Anker fällt erst dann endgültig ab, wenn die Beleuchtungsstärke den Wert beträchtlich unterschreitet, bei dem das Relais angesprochen hat. Der Unterschied zwischen diesen beiden Schaltpunkten kann mit dem Widerstand R 3 in weiten Grenzen eingestellt werden. Dabei läßt sich erreichen, daß der Steuerstrom für das Einschalten doppelt so hoch ist wie der Strom, bei dem ausgeschaltet wird. Kleine Schwankungen der Betriebsspannungen, Erwärmungseinflüsse und dergleichen können nicht mehr zu unbeabsichtigten Schaltbewegungen oder zum Flattern des Relais führen.

2.4.8 *Lichtrelais mit starker Abfallverzögerung*

Der Anker des Relais fällt bei Aufhören der Beleuchtung erst nach einer Verzögerung von mehreren Sekunden ab.

Das Lichtrelais arbeitet in Hellschaltung, die Kaltkatodenröhre wird durch die Teilerspannung gesteuert, die der Fotowiderstand F mit dem Widerstand R 1 liefert. Das Relais mit Abfallverzögerung durch eine Kurzschlußwicklung vermag zwar den Anker über eine oder mehrere Perioden der Wechselspannung zu halten. Die Verzögerung von Sekundendauer beruht jedoch darauf, daß dem Relais das RC-Glied mit dem sehr großen Kondensator C 2 parallelgeschaltet ist. Da dieser für die Aufladung nach dem ersten Zünden der Röhre naturgemäß eine erhebliche Zeit benötigt, ist es notwendig, daß das Relais selbst genügend lange angezogen bleibt. Ohmscher und induktiver Widerstand des Relais würden in den meisten Fällen eine ausreichend lange Entladezeit des Kondensators ergeben. Der Widerstand R 3 dient dazu, eine unzulässige Erhöhung der Sperrspannung an der Röhre zu verhindern. Für jede Sekunde gewünschter Verzögerungszeit ist eine Kapazität von rund 100 µF für den Kondensator C 2 erforderlich.

Diese Schaltung eignet sich für alle die Fälle, wo kurzzeitige Unterbrechungen oder Verminderungen der Beleuchtung auftreten, das Lichtrelais aber nur auf bleibende Änderungen ansprechen soll, z. B. auch als Flammenwächter.



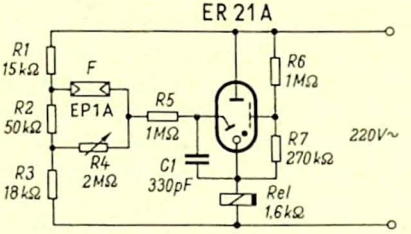
2.4.8

2.4.9 *Lichtrelais mit Fotowiderstand kleiner Belastbarkeit*

Fotowiderstände mit geringer Belastbarkeit können nach dieser Schaltung mit reduzierter Betriebsspannung und Verlustleistung betrieben werden, ohne daß die Ansprechempfindlichkeit des Lichtrelais wesentlich gemindert ist.

Der Fotowiderstand F bildet zusammen mit dem einstellbaren Widerstand R 4 einen Spannungsteiler, dessen Teilungsverhältnis sich bei Änderung der Beleuchtungsstärke verschiebt. Dieser Teiler ist seinerseits an eine Teilspannung angeschlossen, die an der Widerstandskette R 1, R 2, R 3 abgegriffen wird. Bei Beleuchtung der Fotozelle zündet die Kaltkatodenröhre, sobald die Zündspannung am Starter erreicht ist. Das Relais zieht an.

Der Abfall des Relais kann durch RC-Schaltungen parallel zur Relaiswicklung (vgl. 2.4.8) verzögert werden. Intervallschaltungen sind jedoch nicht möglich. Durch die an dem Spannungsteiler R 6 / R 7 abgegriffene Spannung ist die Wandelektrode der Kaltkatodenröhre auf ein definiertes Potential gelegt.



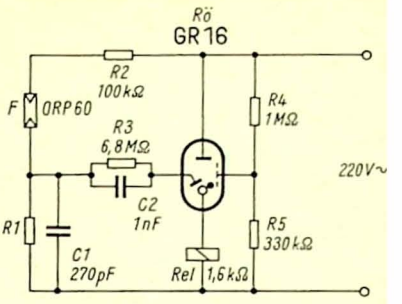
2.4.9

2.4.10 Vereinfachte Intervallschaltung

Die Kaltkatodenröhre zündet bei einem bestimmten Wert der Steuerspannung und löscht wieder bei einem kleineren Wert. Somit zieht das Relais bei einer bestimmten Beleuchtungsstärke an und fällt bei einer geringeren Beleuchtungsstärke wieder ab. Dadurch wird sauberer Schalteinsatz erreicht und verhindert, daß geringfügige Änderungen der Helligkeit, der Betriebsspannung oder Schwankungen der Betriebsdaten das Relais zum Flattern bringen.

Wenn die Kaltkatodenröhre Rö gezündet hat, so kommt die Starterelektrode auf ein Potential, das sich aus dem Spannungsabfall am Relais Rel und dem Potential des Starters gegen die Katode zusammensetzt. Da die Steuerspannung vom Spannungsteiler F/R 1 niedriger ist, lädt sich der Kondensator C 2 auf. Während der negativen Halbwellen, in denen die Röhre gelöscht ist, entlädt er sich teilweise über den Widerstand R 3. Die verbleibende Restspannung addiert sich bei der nächsten

positiven Halbwelle zur Steuerspannung. Diese kann also einen um die Intervallspannung niedrigeren Wert haben, um die Röhre wieder zu zünden. Erst wenn die Summe von Steuerspannung und Intervallspannung die Zündspannung nicht mehr erreicht, löscht die Röhre.



2.4.10

Wenn der Fotowiderstand F und der Widerstand R 1 getauscht werden, entsteht die Dunkelschaltung, bei der das Relais bei einer bestimmten Beleuchtungsstärke abfällt und bei einer kleineren wieder anzieht.

Der Wert des Widerstandes R 1 hängt vom Fotowiderstand und dem gewünschten Empfindlichkeitsbereich ab. Die Größe des Schaltintervalls kann durch Ändern der Werte des Kondensators C 2 und des Widerstandes R 1 gewählt werden.

2.5 Lichtrelais mit Transistor-Verstärkern

Transistorverstärker für Relaiszwecke zeichnen sich durch einfachen Aufbau, geringen Stromverbrauch und niedrige Betriebsspannung aus. Sowohl ihrer Natur nach als auch hinsichtlich der Anpassungsmöglichkeiten sind sie zum Zusammenwirken mit Fotohalbleitern gut geeignet. Beide haben aber den gemeinsamen Nachteil, daß ihre elektrischen Werte temperaturabhängig sind. Deshalb sind bei Geräten mit Transistoren, an die hohe Anforderungen gestellt werden, Kompensationsmaßnahmen nicht zu umgehen.

2.5.1 Lichtrelais mit einstufigem Verstärker und Temperaturkompensation

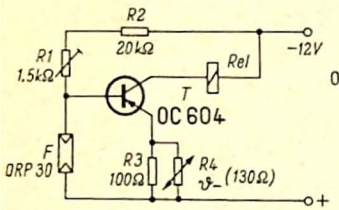
Dieses Lichtrelais arbeitet in Dunkelschaltung; das Relais spricht an, wenn der auf den Fotowiderstand gerichtete Lichtstrahl unterbrochen wird.

Bei Beleuchtung ist der Wert des Fotowiderstandes F klein und deshalb die Spannung an der Basis des Transistors T so stark positiv, daß der Transistor praktisch gesperrt oder wenigstens der Kollektorstrom sehr klein ist. Bei Abdunkelung steigt der Widerstandswert des Fotowiderstandes, die Basis des Transistors wird negativ und steuert den Kollektorstrom, der durch das Relais Rel fließt und es bei ausreichender Stärke zum Anziehen bringt.

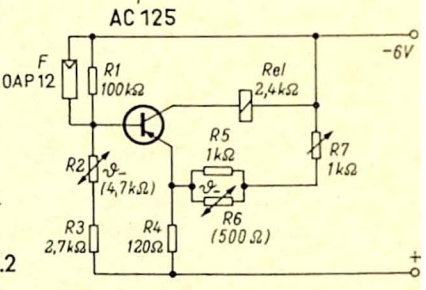
Mit dem Widerstand R 1, der einen Teil des Spannungsteilers zusammen mit dem Fotowiderstand bildet, wird der Arbeitspunkt eingestellt. Der NTC-Widerstand R 4 mit seinem Parallelwiderstand R 3 in der Emitterleitung kompensiert wenigstens teilweise die Temperaturabhängigkeit des Transistors.

2.5.2 *Lichtrelais mit verbesserter Temperaturkompensation*

Weitgehende Maßnahmen zur Temperaturkompensation ermöglichen auch bei einem mit Halbleitern bestückten Lichtrelais den Betrieb in einem Bereich von 0 bis 50 °C.



2.5.1



2.5.2

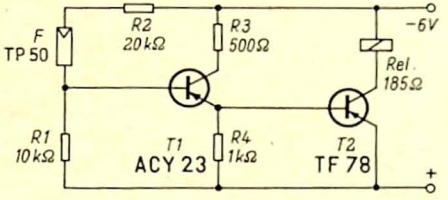
Die Fotodiode F wird in Sperrschaltung, also als Fotowiderstand, betrieben. Die bei Lichteinwirkung gegenüber dem Dunkelzustand veränderte Spannungsteilung mit den Widerständen R 2 + R 3 vergrößert den Basisstrom des Transistors T und steuert diesen auf, bis bei ausreichender Größe des Kollektorstromes der Anker des Relais angezogen wird.

Der Temperaturgang der Schaltanordnung wird durch die beiden NTC-Widerstände R 2 und R 6 zwar nicht restlos, doch für den praktischen Betrieb ausreichend ausgeglichen.

2.5.3.1 Lichtrelais mit zweistufigem Verstärker, Hellschaltung

Das Relais zieht bei dieser Schaltung an, wenn die Fotodiode beleuchtet wird.

Die Fotodiode F ist hier so geschaltet, daß sie als Fotowiderstand arbeitet. Ihr Widerstandswert bestimmt die Spannung an der Basis des ersten Transistors T 1. Diese Spannung ergibt sich aus dem Teilerverhältnis zwischen dem Widerstand R 1 und der



2.5.3.1

Summe der Widerstände der Fotodiode F und des Widerstandes R 2. Solange die Fotodiode unbeleuchtet ist, hat sie einen hohen Widerstandswert, so daß die Spannung an der Basis des Transistors T 1 praktisch gleich der am Emitter ist. Der Transistor ist somit gesperrt. Da kein Emitterstrom fließt, entsteht kein Spannungsabfall am Widerstand R 4; die Basis des Transistors T 2, die mit dem Emitter von T 1 verbunden ist, hat somit dasselbe Potential wie der Emitter. Der Transistor T 2 ist ebenfalls gesperrt.

Wird die Fotodiode beleuchtet, so verringert sich ihr Widerstand, die Spannung an der Basis des Transistors T 1 verschiebt sich nach negativen Werten, es fließt Emitterstrom, der einen Spannungsabfall am Widerstand R 4 hervorruft. Dadurch wird der Transistor T 2 aufgesteuert, es fließt ein Kollektorstrom, der das Relais Rel betätigt.

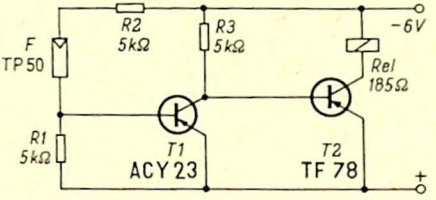
2.5.3.2 Lichtrelais mit zweistufigem Verstärker, Dunkelschaltung

Diese Schaltung ist das Gegenstück zu 2.5.3.1. Sie arbeitet in Dunkelschaltung, d. h. der Anker des Relais wird angezogen, wenn die Beleuchtung der Fotodiode unterbrochen wird, und er fällt ab, wenn die Diode Licht erhält.

Solange die auch hier als Fotowiderstand geschaltete Foto diode F beleuchtet ist, bekommt die Basis des Transistors T 1

etwa die halbe Betriebsspannung und ist leitend. Der Kollektorstrom erzeugt am Widerstand R 3 einen Spannungsabfall, der die Basis des Transistors T 2 so weit ins Positive steuert, daß dieser Transistor gesperrt ist. Es fließt somit kein Strom durch das Relais.

Bei Unterbrechung des die Fotodiode treffenden Lichtstrahles steigt der Widerstand der Fotodiode F. Damit verschiebt sich die Teilerspannung nach der positiven Seite. Der Transistor T 1



2.5.3.2

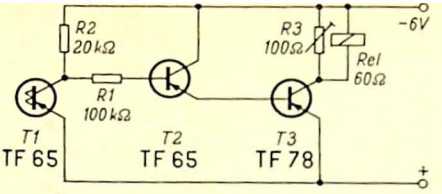
wird gesperrt. Da kein Kollektorstrom mehr fließt, wird der Transistor T 2 aufgesteuert. Dessen Kollektorstrom bringt das Relais Rel zum Ansprechen.

Im geschalteten Zustand fließt ein Strom von etwa 30 mA, während im Ruhezustand nur 2 mA aufgenommen werden.

2.5.4 Lichtrelais mit Fototransistor

Anstelle eines speziellen Fototransistors kann auch ein gewöhnlicher Transistor in Glasgehäuse, bei dem die schwarze Lackschicht entfernt worden ist, verwendet werden. Die lichtempfindliche Fläche ist zwar nur klein, doch ist die Ansprechempfindlichkeit verhältnismäßig hoch. Die hier beschriebene Schaltung ist so ausgelegt, daß das Relais anzieht, wenn die Beleuchtung unterbrochen wird.

Der Fotostrom des Fototransistors T 1 steuert einen zweistufigen Gleichstromverstärker mit den Transistoren T 2 und T 3, der sich durch geringen Aufwand an Schaltmitteln auszeichnet und sich in seiner Wirkungsweise nicht von den unter 2.5.3 beschriebenen unterscheidet. Parallel zu dem Relais Rel liegt der Widerstand R 3, mit dem das Gerät auf den Schwellwert der Beleuchtungsstärke eingestellt wird, bei dem das Relais ansprechen soll.



2.5.4

Da die lichtempfindliche Fläche des Transistors T 1, wie gesagt, nur sehr klein ist, muß der Lichtstrahl darauf durch ein einfaches Linsensystem fokussiert werden. Dann läßt sich erreichen, daß das Relais noch auf das Licht einer 6-W-Glühlampe in mehr als 2 Meter Entfernung anspricht.

Als T 2 kann der modernere Typ ACY 23 eingebaut werden. Da dieser ein Metallgehäuse hat, läßt er sich jedoch nicht als Fototransistor verwenden, so daß für T 1 nur der Typ TF 65 oder ein entsprechender in Glasgehäuse in Frage kommt, falls man nicht einen speziellen Fototransistor bevorzugt.

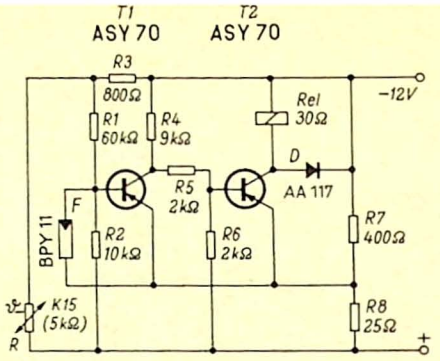
2.5.5 *Lichtrelais für großen Temperaturbereich*

Dieses Lichtrelais arbeitet in Hellschaltung und ist so weit temperaturkompensiert, daß im Bereich von 0 bis 60 °C keine Schwankungen der Ansprechempfindlichkeit von mehr als 20 % auftreten.

Wenn das Silizium-Fotoelement F nicht beleuchtet ist, erhält die Basis des Transistors T 1 über den Spannungsteiler aus den Widerständen R 3, R 1, R 2 eine soweit negative Spannung gegen den Emitter, daß der Basisstrom den Transistor durchsteuert. Dann ist der Transistor T 2 gesperrt und das Relais Rel stromlos.

Bei Lichteinfall erzeugt das Fotoelement eine an der Basis des Transistors T 1 positive Spannung, die bei genügender Größe diesen Transistor sperrt. Dadurch wird nunmehr der Transistor T 2 aufgetastet. Sein Kollektorstrom betätigt das Relais.

Bei höherer Temperatur wird der Transistor T 1 bereits von einem niedrigeren Strom durchgesteuert. Um dann den Transistor zu sperren, ist eine höhere Gegenspannung nötig, die das Fotoelement nur bei stärkerer Beleuchtung liefern kann. Das

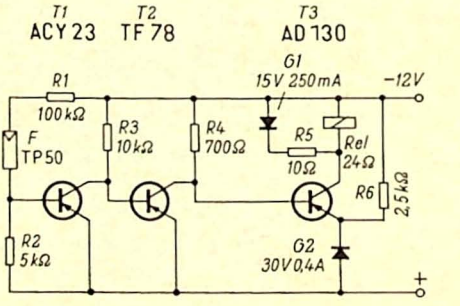


2.5.5

bedeutet eine Minderung der Ansprechempfindlichkeit. Durch den Widerstand R mit negativem Temperaturkoeffizienten (NTC-Widerstand oder Heißleiter) wird bei steigender Temperatur die Spannung an der Basis so verschoben, daß das Fotoelement zum Sperren keine höhere Energie an den Transistor liefern muß als bei der niederen Temperatur.

2.5.6.1 *Lichtrelais mit 6 W Schaltleistung, Hellschaltung*

Dieses Lichtrelais hoher Schaltleistung arbeitet in Hellschaltung: der Anker des Relais wird angezogen, wenn die Fotodiode beleuchtet wird. Diese ist so geschaltet, daß sie als Fotowiderstand arbeitet. Daher ist die Ansprechempfindlichkeit der Schaltung hoch, doch ist ein einwandfreier Betrieb wegen der



2.5.6.1

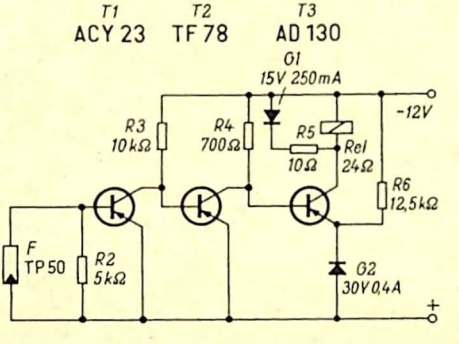
Temperaturabhängigkeit des Fotowiderstandes nur bei Umgebungstemperaturen möglich, die 50 °C nicht überschreiten.

Durch Lichteinfall wird der Widerstandswert des Fotowiderstandes F verkleinert, so daß die Spannung an der Basis des Transistors steigt und dieser aufgesteuert wird. Auf die erste Stufe folgt ein Gleichstromverstärker mit dem Transistor T 2 und dem Leistungstransistor T 3. Die Endstufe hat eine Schaltleistung von 6 W. Damit infolge der Induktivität der Relaiswicklung und der kurzen Schaltzeiten auftretende Spannungsspitzen den Transistor nicht gefährden können, werden diese durch die Reihenschaltung des Gleichrichters G 1 mit dem Widerstand R 5 abgekappt. Die Empfindlichkeit dieser Anordnung ist so hoch, daß ein Strom von 50 µA durch den Fotowiderstand ausreicht, um den Leistungstransistor durchzusteuern.

2.5.6.2 Lichtrelais mit Fotoelement und 6 W Schaltleistung

Diese Schaltung entspricht der vorherbeschriebenen mit dem Unterschied, daß die Fotodiode als Fotoelement betrieben wird. Ein solches führt keinen Dunkelstrom, wie er sonst bei einer Fotodiode als Sperrstrom auftritt, der zudem temperaturabhängig ist. Die dargestellte Anordnung kann bis zu einer Umgebungstemperatur von etwa 60 °C betrieben werden. Dabei muß man die etwas geringere Empfindlichkeit in Kauf nehmen.

Die von der als Element betriebenen Fotodiode F erzeugte Fotospannung steuert die Basis des Transistors T 1. Dieser



2.5.6.2

schaltet die nachfolgenden beiden Gleichstromverstärkerstufen. Sie arbeiten in gleicher Weise wie bei 2.5.6.1.

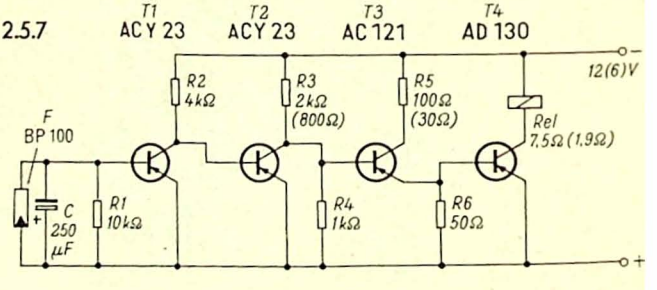
Damit das Relais anspricht, muß die Basis des Transistors T 1 vom Fotoelement eine Steuerspannung von mindestens 150 mV erhalten.

Mit der hohen Schaltleistung der Endstufe können große Relais und Schaltschütze mit großem Schaltvermögen betätigt werden. Ferner lassen sich damit elektromagnetische Kupplungen und dergleichen unmittelbar betreiben, ebenso Kleinmotoren oder Signallampen und andere Geräte bis zu einer Leistung von 6 W.

2.5.7 Lichtrelais mit 20 W Schaltleistung

Die Schaltung 2.5.7 ist so ausgelegt, daß der Schaltmagnet anspricht, wenn das Fotoelement beleuchtet wird. Die vom Fotoelement F erzeugte Spannung steuert die Basis des Transistors T 1. Der parallel liegende Kondensator C wirkt als Ladekondensator und verhindert, daß die Schaltung schon bei kurzen Lichtblitzen anspricht oder bei sehr kurzzeitigen Unterbrechungen der Beleuchtung der Schaltmagnet stromlos wird.

Die vier Transistoren sind als direkt gekoppelter Gleichstromverstärker geschaltet. Die Endstufe hat eine Schaltleistung von 20 W, so daß auch größere Schütze unmittelbar geschaltet werden können. Ebenso ist es möglich, einen entsprechend dimensionierten Motor im Kollektorkreis der Endstufe zu betreiben. Große Induktivität des Schaltmagneten kann beim Abschalten zu hohen



Spannungsspitzen führen, die den Transistor gefährden. Sie lassen sich durch eine der Spule parallelgeschaltete Diode oder einen Kondensator unterdrücken. Eine gewisse Verzögerung beim Anziehen und Abfallen des Relais muß allerdings dabei in Kauf genommen werden.

Im Schaltbild sind die Widerstandswerte für Betriebsspannungen von 12 V und 6 V angegeben. Da außer dem Relais nur zwei Widerstände verschieden sind, läßt sich das Gerät leicht für zwei Spannungen umschalten.

Das Relais spricht bei einer Beleuchtungsstärke von 2000 Lx am Fotoelement an. Das entspricht einem Fotostrom von 100 µA. Es kann bis zu Umgebungstemperaturen von 50 °C betrieben werden.

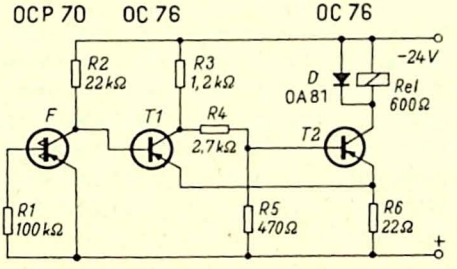
2.6 Lichtrelais mit Kippschaltungen

Wenn sich die Beleuchtungsstärke nur langsam ändert, das Relais aber trotzdem beim Überschreiten des Schwellwertes exakt und sprungartig schalten soll, empfiehlt es sich, eine Kippschaltung zu verwenden. Besonders geeignet sind Schaltungen mit Transistoren und mit Kaltkatodenröhren, bei denen das Kippen in den leitenden Zustand einen Stromanstieg von praktisch Null auf den Höchstwert bewirkt.

2.6.1 Lichtrelais mit Fototransistor und Trigger

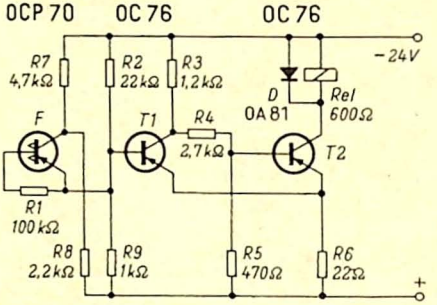
Die Schaltung 2.6.1.1 arbeitet so, daß das Relais anzieht, wenn die Beleuchtungsstärke einen Schwellwert überschreitet.

Die Transistoren T 1 und T 2 bilden einen Schmitt-Trigger. Im Ruhezustand, also bei unbeleuchtetem Fototransistor, ist der



2.6.1.1

Transistor T 1 leitend, der Transistor T 2 gesperrt, das Relais stromlos. Bei Beleuchtung des Fototransistors F geht die Spannung an dessen Kollektor, somit an der Basis des Transistors T 1 nach positiven Werten. Der Strom durch den Transistor T 1 sinkt, und der Transistor T 2 wird aufgesteuert. Der beiden Transistoren gemeinsame Emitterwiderstand R 6 erzeugt eine Rückkopplung, die einen sprunghaften Anstieg des Kollektorstromes des Transistors T 2 bewirkt, sobald die Ansteuerung des Transistors T 1 den Ansprechwert überschreitet. Das Relais Rel zieht an.



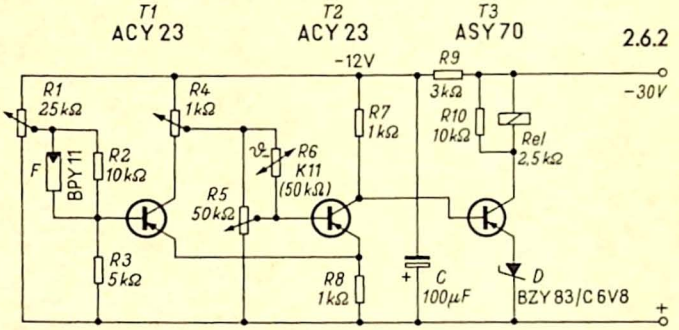
2.6.1.2

Unterschreitet die Beleuchtung des Fototransistors einen Grenzwert, so kippt der Trigger ebenso schnell in die Ruhelage zurück, und das Relais fällt ab. Die Schaltungselemente sind so bemessen, daß die Rückstellung bei einer solchen Beleuchtung erfolgt, bei der der Strom des Fototransistors etwa halb so hoch ist wie der zum Einschalten benötigte. Die Diode D parallel zum Relais Rel kappt die Spannungsspitzen ab, die durch das plötzliche Schalten der Induktivität des Relais entstehen und den Transistor gefährden würden.

Die Schaltung 2.6.1.2 ist die Abwandlung der vorhergehenden für Dunkelschaltung. Das Relais schließt, wenn die Beleuchtung des Fototransistors einen Grenzwert unterschreitet bzw. ganz unterbrochen wird. Solange der Fototransistor F ausreichend beleuchtet wird, ist der Transistor T 1 durchgesteuert und der Transistor T 2 gesperrt. Abdunkelung bringt den Schmitt-Trigger zum Kippen, der dann fließende Kollektorstrom im Transistor T 2 das Relais Rel zum Anziehen.

2.6.2 *Lichtrelais mit Trigger und Schaltverstärker*

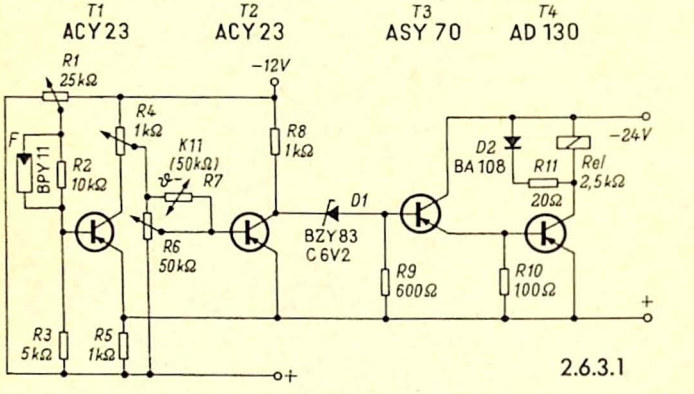
Beim Überschreiten eines vorgegebenen Helligkeitswertes spricht das Relais schlagartig an. Um einen genauen Einsatz und scharfe Durchsteuerung der Schaltstufe mit dem Transistor T 3 zu erreichen, wird diese durch den aus den Transistoren T 1 und T 2 gebildeten Schmitt-Trigger aufgetastet. Erreicht die Beleuchtungsstärke des Fotoelementes F den Schwellwert, dann ändert sich die Spannung an der Basis des Transistors T 1 so weit, daß der Trigger kippt. Das heißt, der vorher gesperrte Transistor T 1 wird leitend, der bis dahin leitende Transistor T 2 wird gesperrt. Dadurch steigt die negative Spannung an der Basis des Transistors T 3 steil an, er wird voll durchgesteuert, der Kollektorstrom betätigt das Relais Rel.



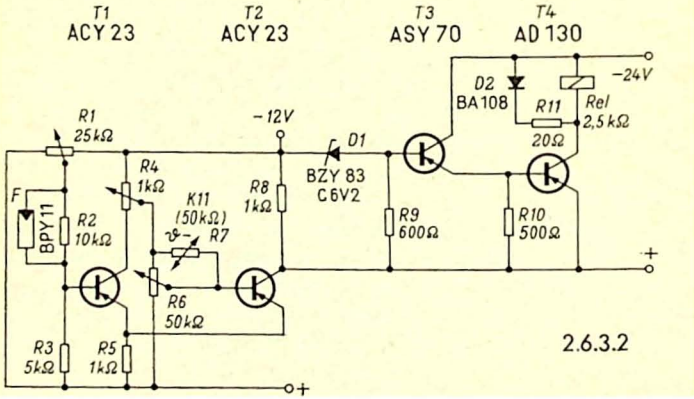
Der Ansprechwert des Lichtrelais wird mit dem Widerstand R 1 durch Abgreifen einer Teilspannung eingestellt. Die Empfindlichkeit der Kippschaltung läßt sich mit dem Kollektorwiderstand R 4 abgleichen. Man geht dabei so vor, daß man, von dem am Kollektor liegenden Ende ausgehend, den Abgriff langsam zur negativen Spannung hin verschiebt. Dabei wird die Basisspannung des Transistors T 2 mit dem Widerstand R 5 laufend so nachgestellt, daß zwischen Basis und Kollektor dieses Transistors eine Spannung von 0,1 V herrscht. Die gewählte Empfindlichkeit bleibt in gewissen Grenzen auch bei Temperaturänderungen erhalten. Dies wird durch die Kompensation mit dem Heißleiter R 6, das ist ein Widerstand mit negativem Temperaturkoeffizienten, erreicht.

2.6.3 Lichtrelais mit Trigger und zweistufigem Schaltverstärker

Die beiden folgenden Schaltungen entsprechen der vorhergehenden in Aufbau und Arbeitsweise, jedoch ist jeweils eine Endstufe mit hoher Schaltleistung hinzugefügt. Der Trigger wird aus einer eigenen Stromquelle gespeist, hauptsächlich, um ihn von der Schaltstufe mit ihren starken Stromänderungen gut zu entkoppeln. Da die Spannung niedriger und der Stromverbrauch gering ist, genügt eine kleine Batterie zum Betreiben der Triggerstufe. Der Schaltverstärker ist an den Schmitt-Trigger über die Zener-Diode D 1 angekoppelt, weil anderenfalls die Restspan-



2.6.3.1



2.6.3.2

nung am Kollektor des Transistors T 2 den Transistor T 3 aufsteuern würde.

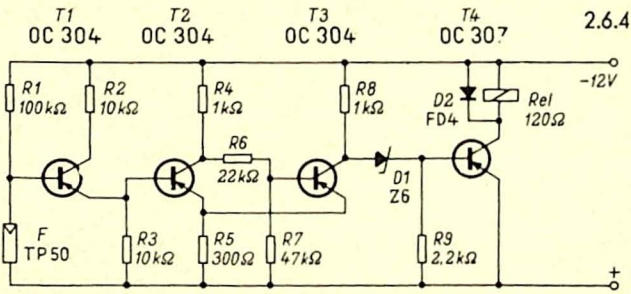
Die Schaltung 2.6.3.1 ist für Hellsteuerung, also Anzug des Relais bei Beleuchtung des Fotoelementes, ausgelegt, während bei der Schaltung 2.6.3.2 der Anker anzieht, wenn die Helligkeit auf dem Fotoelement einen bestimmten Wert unterschreitet.

Das hier verwendete Silizium-Fotoelement hat eine besonders hohe Anfangsempfindlichkeit, gibt also bereits bei geringer Beleuchtungsstärke eine hohe Energie ab. Es zeichnet sich außerdem durch sehr geringe Abmessungen aus, was es besonders für die Anordnung vieler Elemente in einer Reihe geeignet macht. Naturgemäß ist die lichtempfindliche Fläche entsprechend klein, so daß im allgemeinen eine Bündelung des Lichtes durch ein einfaches Linsensystem und eine Justiermöglichkeit zum Ausrichten des Strahles erforderlich sind.

2.6.4 *Lichtrelais mit Trigger und Vorverstärker*

Ein Vorverstärker erhöht die Ansprechempfindlichkeit bei diesem trigger-gesteuerten Lichtrelais. Der Anker zieht an, wenn die Beleuchtungsstärke abnimmt.

Die Fotodiode F bildet zusammen mit dem Widerstand R 1 einen Spannungsteiler. Bei Änderung der Beleuchtung verschiebt sich die abgegriffene Spannung, die die Basis des in Kollektorschaltung betriebenen Transistors T 1 steuert. Dieser wiederum wirkt auf den Schmitt-Trigger, den die beiden Transistoren T 2 und T 3 durch die Rückkopplung über den gemeinsamen Emitterwiderstand R 5 bilden. Der Trigger ist so ausgelegt, daß im



Ruhezustand, also bei beleuchteter Fotodiode, der Transitor T 2 gesperrt und T 3 leitend ist.

Nimmt die Helligkeit der Fotodiode ab, so steigt ihr Widerstand, die Basis des Transistors T 1 wird ins negative Gebiet gesteuert und damit der Schmitt-Trigger umgetastet. Der Transistor T 2 führt Strom, Transistor T 3 ist gesperrt. Eine direkte Ankopplung der Schaltstufe ist nicht möglich, weil der Kollektor des Transistors T 3 durch die Anhebung am Widerstand R 5 einen erheblichen Spannungsunterschied gegenüber der Basis des Transistors T 4 aufweist. Deshalb ist als Koppelelement die Zenerdiode D 1 zwischengeschaltet, die diesen Spannungssprung überwindet.

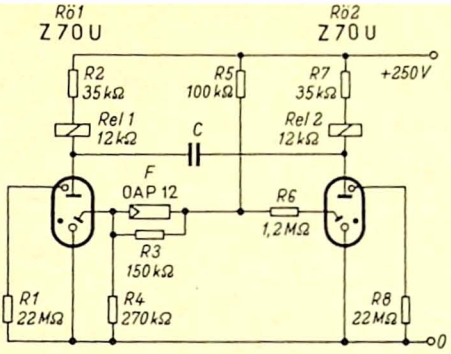
Beim Kippen des Triggers wird der Transistor T 4 rasch vom völlig gesperrten zum ganz durchgesteuerten Zustand, bzw. bei Wiederbeleuchtung der Fotodiode umgekehrt, umgetastet, gleichgültig, wie langsam die Beleuchtungsstärke den Schwellwert in der einen oder anderen Richtung überschreitet. Dadurch ist sichergestellt, daß die Verlustleistung des Endtransistors die zulässige Grenze nicht überschreitet.

Durch die steile Flanke des Schaltstromes entsteht an der Induktivität des Relais Rel eine Spannungsspitze, die dem Transistor T 4 gefährlich werden würde. Die Diode D 2 wirkt als ein Kurzschluß für diese Spannungsspitze und schützt somit den Transistor.

2.6.5.1 Lichtrelais mit Kaltkatodenröhren in Flipflop-Schaltung

Eine Flipflop-Schaltung mit Kaltkatoden-Röhren ergibt ein exakt schaltendes Lichtrelais mit geringem Aufwand an Schaltmitteln und von hoher Zuverlässigkeit und Lebensdauer.

Im Ausgangszustand, das ist bei unbeleuchteter Fotodiode, ist die Kaltkatodenröhre Rö 2 gezündet, die Röhre Rö 1 dagegen gesperrt. Bei ausreichend hoher Beleuchtung der Fotodiode F erhöht sich die Spannung an der Starterelektrode der Röhre Rö 1, so daß diese nunmehr zündet. Die Spannung an der Anode, die vorher gleich der Betriebsspannung war, sinkt auf die Bogenspannung. Dadurch entlädt sich der Kondensator C über die Anodenkreis-Widerstände, die Spannung an der Kaltkatodenröhre Rö 2 sinkt unter die Löschspannung, die Entladung wird



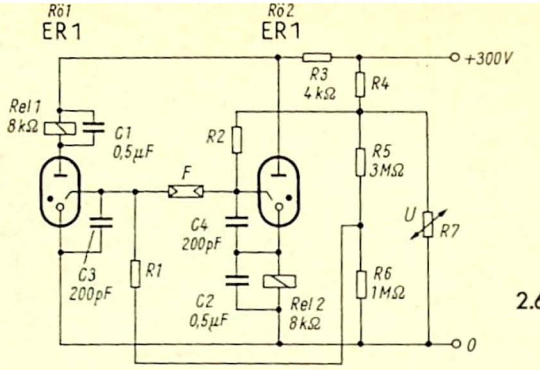
2.6.5.1

unterbrochen. Es fließt ein Ladestrom in umgekehrter Richtung auf den Kondensator C. Damit sind die Arbeitszustände der beiden Röhren vertauscht.

Beim Unterbrechen der Beleuchtung bzw. bei Absinken unter den Schwellwert kippt die Flipflop-Schaltung in den Ausgangszustand zurück. Die Relais in den Anodenstromkreisen, Rel 1 und Rel 2, ziehen jeweils dann an, wenn die zugehörigen Röhren gezündet haben. Je nachdem, ob Hell- oder Dunkelschaltung gewünscht wird, kann ein Relais durch einen Widerstand entsprechender Größe ersetzt werden. Der Schaltzustand ist am Glimmlicht der Röhren zu erkennen. Die mögliche Schaltfolgefrequenz wird durch die Zeitkonstanten bestimmt, die sich aus der Hintereinanderschaltung des Kondensators C mit den Widerständen R 2 + Rel 1 bzw. R 7 + Rel 2 im Anodenkreis ergeben.

2.6.5.2 *Lichtrelais mit Kaltkatodenröhren in Flipflop-Schaltung*

Die folgende Schaltung entspricht im Prinzip der vorhergehenden 2.6.5.1. Bei unbeleuchtetem, also hochohmigem Fotowiderstand F ist die Kaltkatodenröhre Rö 2 gezündet, Rö 1 gelöscht. Bei Beleuchtung des Fotowiderstandes und Abnahme seines Widerstandswertes steigt der Spannungsabfall am Widerstand R 1 und damit die Spannung an der Starterelektrode der Röhre Rö 1. Wenn die Zündspannung erreicht ist, zündet Rö 1. Für den Schaltstoß wirkt der Kondensator C 1 als Kurzschluß,



2.6.5.2

so daß kurzzeitig am Widerstand R 3 ein so hoher Spannungsabfall entsteht, daß die Röhre Rö 2 löscht.

Wenn die Beleuchtung des Fotowiderstandes vermindert wird, steigt wieder die Spannung am Starter der Röhre Rö 2. Sobald die Zündspannung erreicht ist, kippt die Anordnung in die Ausgangslage: Rö 2 gezündet, Rö 1 gelöscht.

Es ziehen jeweils die Relais im Anodenkreis der gezündeten Röhren an. Gegebenenfalls wird eines der Relais durch einen Widerstand gleicher Größe ersetzt. Wenn eine Anzeige der Schaltstellung durch das Glimmlicht ausreicht, können beide Relais durch Widerstände ersetzt werden.

Durch Vergrößern der Kondensatoren C 3 und C 4 kann eine Ein- und Ausschalt-Verzögerung erzielt werden. Die Größen von R 1 und R 2 sind je nach dem Dunkelwiderstand des Fotowiderstandes zu bemessen. Der Spannungsteiler R 4/ R 5 – R 6 mit dem parallelgeschalteten spannungsabhängigen Widerstand R 7 liefert eine stabilisierte Spannung für die beiden Starter, die durch entsprechende Wahl des Widerstandes R 4 auf etwa 170 V eingestellt wird. Durch unterschiedliche Größen der Widerstände R 1 und R 2 kann ein Schaltintervall, also Umschaltung bei verschiedenen Helligkeitswerten, erreicht werden.

2.7 Lichtrelais mit Wechselstrom-Verstärkern

Für Raumsicherungsanlagen und dgl. hat die Verwendung von Wechsellicht den Vorteil, daß Lichtrelais, die nur auf solches an-

sprechen, nicht durch Gleichlicht gestört werden können, weder durch Tageslicht oder anderes Fremdlicht noch absichtlich durch Anleuchten mit einer Gleichlichtquelle. Wechsellicht kann von Glimmlampen und Leuchtröhren, aber auch durch Ausnutzung der Welligkeit von Glühlicht bei Betrieb mit Wechselstrom erzeugt werden. Ferner läßt sich mit rotierenden Blenden und Spiegeln ein Lichtstrahl periodisch unterbrechen, wodurch ein Lichtpuls entsteht. Die Vorteile von Wechselstromverstärkern können ebenso genutzt werden, wenn der Fotostrom des lichtelektrischen Wandlers zerhackt wird.

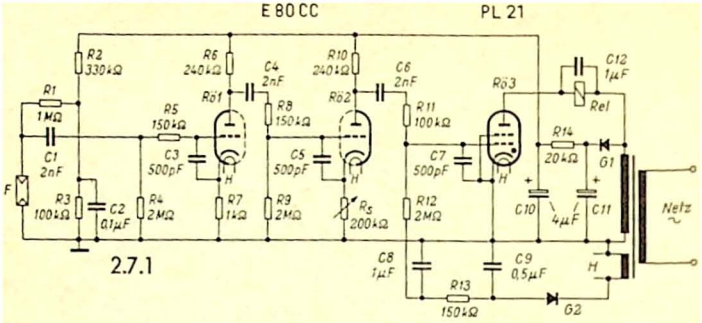
Wechselstromverstärker lassen eine höhere Verstärkung zu als Gleichstromverstärker. Bei Transistorverstärkern treten durch Temperatureinflüsse starke Verschiebungen der Arbeitspunkte auf. Ihre Auswirkungen sind bei Wechselstromverstärkern geringer und lassen sich leichter kompensieren. Die Grenze für die erreichbare Empfindlichkeit ist durch das Rauschen des ersten Transistors festgelegt. Bei Begrenzung der Durchlaßbreite des Verstärkers ist eine Verminderung des Rauschanteiles möglich. Selektive Verstärker mit Resonanzkreisen erlauben die höchstmögliche Empfindlichkeit. Zugleich haben sie den Vorteil, daß ein damit ausgerüstetes Lichtrelais ausschließlich auf Wechsellicht einer bestimmten Frequenz anspricht.

Die nachfolgenden Schaltungen sind Beispiele von Lichtrelais mit Wechselstrom-Verstärkern verschiedener Art.

2.7.1 Lichtrelais für Pulsbetrieb

Verwendet man eine periodisch blinkende Lichtquelle, so kann das Lichtrelais einen Impulsverstärker erhalten. Es spricht dann auf Gleichlicht nicht an. Falls die Lichtquelle selbst sich auf diese Weise nicht modulieren läßt, erfüllt eine in den Strahlengang gelegte rotierende Loch- oder Schlitzscheibe denselben Zweck. Es entstehen Lichtimpulse, die, in Spannungsimpulse umgewandelt, leicht verstärkt werden können.

Die Drehzahl der Scheibe und die Anzahl der Schlitze werden zweckmäßig so gewählt, daß eine Pulsfrequenz von etwa 300 Hz entsteht. Diese Frequenz ist hoch genug, um sich ohne beson-



deren Aufwand verstärken zu lassen, und niedrig genug, um mit Sicherheit unter der Trägheit der Fotowiderstände zu bleiben.

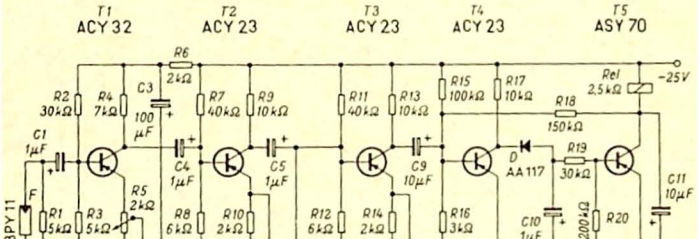
Die Lichtimpulse erzeugen durch entsprechende Widerstandsänderungen des Fotowiderstandes F Spannungsimpulse am Kondensator C 1, die den zweistufigen Impulsverstärker mit den Röhren Rö 1 und Rö 2 steuern. Am Ausgang des Verstärkers sind die Impulse maximal 300fach verstärkt. Der Verstärkungsgrad kann mit dem Katodenwiderstand R_S eingestellt werden. Das Thyratron Rö 3 ist im Ruhezustand durch eine negative Vorspannung des Steuergitters gesperrt. Diese wird aus der Heizspannung durch Gleichrichtung mit dem Gleichrichter G 2 gewonnen und durch den Widerstand R 13 und die Kondensatoren C 8 und C 9 gesiebt. Die Impulse an der Anode der Röhre Rö 2 sind positiv gerichtet und wirken am Gitter des Thyratrons der Sperrspannung entgegen. Bei ausreichender Amplitude tasten sie das Thyratron auf, so daß dessen Anodenstrom das Relais Rel zum Ansprechen bringt. Das Thyratron wird mit Wechselstrom betrieben. Deshalb ist der Kondensator C 12 parallel zum Relais erforderlich.

2.7.2 Hochempfindliches Lichtrelais

In Schaltung 2.7.2 steuert die bei Beleuchtung mit Wechsellicht vom Fotoelement F erzeugte Wechselspannung den Verstärker. Seine einzelnen Stufen sind kapazitiv gekoppelt. Die geringe Größe der verwendeten Kapazitätswerte (1 µF) in Verbindung

mit den niederohmigen Ableitwiderständen (6 kΩ) mindert zwar die Verstärkung in gewissem Umfange, doch bleibt dadurch die Zeitkonstante des Verstärkers klein genug, um das Relais rasch ansprechen zu lassen.

Die ersten drei Transistoren T 1, T 2, T 3 sind als normale Emitterbasis-Verstärker geschaltet. Der Transistor T 4 ist im Ruhezustand voll durchgesteuert. Dies bewirken die Spannung über den Widerstand R 15 und die Rückkopplung über den Widerstand R 18. Die bei Beleuchtung des Fotoelementes an der Basis des Transistors T 4 erscheinenden positiven Spannungshalbwellen sperren diese Stufe. Da kein Kollektorstrom mehr fließt, wird der Kondensator C 10 über den Widerstand R 17 und die Diode D auf volle Spannung aufgeladen. Wird der Transistor T 4 bei den negativen Halbwellen durchgesteuert, kann indessen die Ladung des Kondensators C 10 nicht über diesen abfließen, da die Diode D diese Stromrichtung sperrt. Der Strom fließt vielmehr ständig über die Basis des Transistors T 5. Er ist auf diese Weise dauernd aufgesteuert, solange das Fotoelement mit Wechsellicht beleuchtet wird. Die Arbeitsweise entspricht der eines Gleichrichters mit Ladekondensator. Sobald die Ansteuerung aufhört und der Kondensator C 10 nicht laufend nachgeladen wird, sperrt die positive Spannung von 10 V den Transistor T 5, und das Relais fällt ab.



2.7.2

Die Eingangsempfindlichkeit ist sehr hoch. Bei einem Fotostrom von 0,2 µA schaltet das Relais bereits. Der Verstärkungsgrad kann mit dem Widerstand R 5 eingestellt werden. Durch Verschieben des Abgriffes ändert sich der Eingangswiderstand des Transistors T 1 in weiten Grenzen. Da dieser dem Widerstand R 3 parallel liegt, teilt sich der Strom entsprechend der Größe der Widerstandswerte auf. Der Kondensator C 7 an der Basis des Transistors T 3 bildet einen Kurzschluß für hohe Frequenzen, also für einen erheblichen Teil des Rauschens.

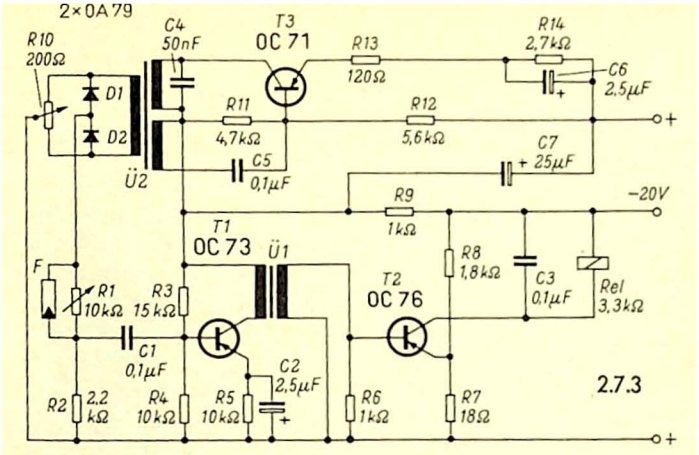
2.7.3 Lichtrelais mit elektronischem Zerhacker

Die Unstabilitäten von Gleichstromverstärkern, besonders solcher mit Transistoren, infolge von Temperatureinflüssen und Spannungsschwankungen, kann man dadurch umgehen, daß man die zu verstärkende Gleichspannung zerhackt. Die entstehende Impulsfolge läßt sich wie Wechselstrom verstärken. Zerhacker sind mit elektronischen Mitteln elegant aufzubauen.

Lichtempfindliches Organ ist in der hier beschriebenen Schaltung ein Fotoelement. Die von ihm bei Beleuchtung erzeugte Fotospannung liegt an der Reihenschaltung des Widerstandes R 2 mit der Diodenbrücke D 1, D 2, die von einer Wechselspannung gesteuert wird. Bei den negativen Halbwellen dieser Spannung sind die Dioden gesperrt, haben somit einen Widerstand, der groß ist gegen den Widerstand R 2. Der größte Teil der Fotospannung fällt an den Dioden ab. Am Widerstand R 2 bleibt nur ein geringer Rest stehen. Bei den positiven Halbwellen der Steuerspannung dagegen sind die Dioden leitend, ihr Innenwiderstand ist klein gegen R 2. Praktisch die gesamte Fotospannung steht am Widerstand R 2 und somit am Eingang des Impulsverstärkers.

Die auf diese Weise entstandenen Impulse werden über den Kondensator C 1 der Basis des Vorverstärker-Transistors T 1 zugeführt, der den mit dem Impulsübertrager Ü 1 angekoppelten Schalttransistor T 2 steuert. Dessen Kollektorstrom betätigt bei Beleuchtung des Fotoelementes das Relais Rel.

Grundsätzlich wäre es möglich, die Diodenbrücke mit Netzfrequenz zu steuern. Da das mit Transistoren bestückte Licht-



relais unabhängig vom Netz aus Batterien gespeist werden kann, ist ein besonderer Tonfrequenzgenerator vorgesehen. Seine Frequenz ist so gewählt, daß eine ausreichend kurze Ansprechzeit erreicht wird, aber Schwierigkeiten bei der Diodensteuerung und bei der Verstärkung infolge der Trägheit der Halbleiterelemente nicht auftreten können. 10 kHz ist ein brauchbarer Wert.

Diese Frequenz wird in einer induktiven Rückkopplungsschaltung mit dem Transistor T 3 erzeugt. Die Induktivität (5,3 mH) der einen Wicklung des Übertragers Ü 2 bildet zusammen mit dem Kondensator C 4 den Schwingkreis, der die Frequenz bestimmt. An der Basis liegt die Rückkopplungswicklung. Die Auskoppelwicklung ist so bemessen, daß an den Dioden D 1 und D 2 eine Spannung von 0,7 V eff liegt.

Wickeldaten der Übertrager

Impulsübertrager Ü 1
Kern: Schalenkern D 18/12–00 – III B aus Ferroxcube (Valvo)
primär: 700 Windungen 0,1 CuL (280 mH)
sekundär: 110 Windungen 0,2 CuL

Rückkopplungsübertrager Ü 2
Kern: Schalenkern D 18/12–05 – III B aus Ferroxcube (Valvo)

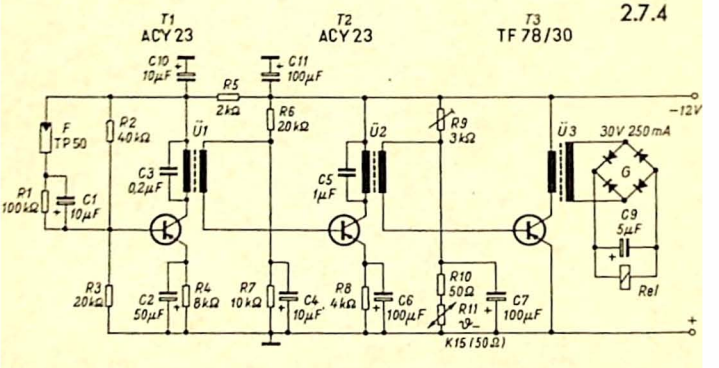
Kollektorwicklung:	220 Windungen	0,1 CuL
Basiswicklung:	80 Windungen	0,1 CuL
Auskoppelwicklung:	50 Windungen	0,1 CuL

2.7.4 Lichtrelais mit Resonanzverstärker

Der Verstärker dieses Lichtrelais ist auf eine Frequenz von 100 Hz abgestimmt. Daher spricht es weder auf Gleichlichtänderungen und langsame Helligkeitsschwankungen noch auf Wechsellicht anderer Frequenz an. Die Resonanzfrequenz von 100 Hz ist gewählt, weil bei Glüh-, Glimm- und Leuchtstofflampen die Netzfrequenz Helligkeitsschwankungen mit der doppelten Frequenz verursacht. Infolge der hohen Kreisgüte ist die Durchlaßbreite des Verstärkers gering. Dadurch wird auch aus dem Rauschspektrum nur ein entsprechend schmaler Bereich ausgeschnitten, so daß die Verstärkung sehr hoch getrieben werden kann, ohne daß der Rauschanteil der ersten Stufe stört.

Das Gerät ist als dreistufiger Emitterbasis-Verstärker geschaltet. Die einzelnen Stufen sind durch die Resonanzübertrager gekoppelt, die gleichzeitig die Ausgänge und Eingänge der Transistoren aneinander anpassen. Im Basiskreis des Endstufen-Transistors T 3 liegt der temperaturabhängige Widerstand (Heißleiter) R 11, der die Stufe temperaturkompensiert. Die Ausgangsleistung wird über den Brückengleichrichter dem Relais Rel zugeführt. Die Bemessung der Schaltelemente erlaubt eine Schalthäufigkeit von maximal fünf je Sekunde.

Die Empfindlichkeit dieser Schaltung ist so hoch, daß ein Fotostrom von 50 nA genügt, um das Relais ansprechen zu lassen. Um diese Empfindlichkeit voll ausnutzen zu können, ist es not-



wendig, auf sorgfältigen Aufbau, besonders auf gute Entkopplung der einzelnen Übertrager, zu achten. Die hohe Güte der Kreise verlangt exaktes Abgleichen auf die Resonanzfrequenz.

Dieses Lichtrelais wird vom Tageslicht und von langsam verlaufenden Änderungen der Helligkeit nicht beeinflußt. Deshalb ist es besonders für Lichtschranken mit schwachen Lampen oder mit großer Spannweite geeignet, auch schon wegen seiner hohen Ansprechempfindlichkeit. Da es in Hellschaltung arbeitet, wäre für den Betrieb als Schranke oder zur Raumüberwachung ein Relais mit Ruhekontakt vorzusehen. Da die Leistungsaufnahme des Gerätes gering ist, empfiehlt sich diese Ausführung sowieso, weil Störungen, gleich welcher Art, Alarm auslösen.

Wickeldaten der Übertrager

Ü 1:	Schalenkern B 65 581 N 22 A 400 aus Siferrit (Siemens)
primär:	850 Windungen 0,08 CuL
sekundär:	5000 Windungen 0,08 CuL
Ü 2:	Schalenkern B 65 581 N 22 A 630 aus Siferrit (Siemens)
primär:	100 Windungen 0,15 CuL
sekundär:	2100 Windungen 0,12 CuL
Ü 3:	Kern M 42/15 aus Dynamoblech IV/0,35, je $^1/_4$ der Bleche gleichsinnig geschichtet
primär:	600 Windungen 0,3 CuL
sekundär:	800 Windungen 0,3 CuL

2.8 Auslöser für Blitzlichtgeräte

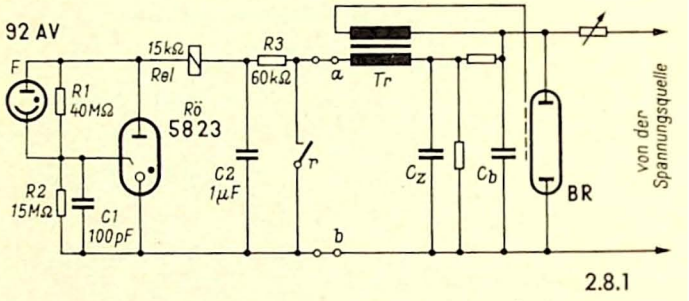
Um bei Blitzlichtaufnahmen gut ausgeleuchtete Bilder zu erhalten, ist es zweckmäßig, mehrere Blitze gleichzeitig zu verwenden, die passend im Raum verteilt sind. Drahtverbindungen zwischen den einzelnen Blitzgeräten, um sie zugleich auslösen zu können, sind recht lästig. Geeignete fotoelektronische Einrichtungen machen es möglich, durch das Licht eines Blitzes die anderen mit unmerklicher Verzögerung zu zünden.

Grundsätzlich können Lichtrelais in Hellschaltung zu diesem Zweck verwendet werden, sofern ihre Ansprechzeit genügend klein ist. Der Arbeitskontakt des Relais schließt dann den Blitzauslöser-Kontakt.

Vorteilhaft sind die nachstehend beschriebenen Blitzauslöser, die zum Teil keine eigene Stromquelle benötigen.

2.8.1 Blitzauslöser mit Relais

Die Prinzipschaltung eines Blitzgerätes ohne das Spannungserzeugungsteil ist im Schaltbild rechts dargestellt. Der Blitzkondensator C_b ist auf 500 V aufgeladen. Am Zündkondensator C_z liegt eine Teilspannung von etwa 150 V. Durch Überbrücken der Klemmen a und b, gewöhnlich mit dem Kamerakontakt, entlädt sich C_z kurzzeitig über die Primärwicklung des Zündtransformators Tr. An dessen Sekundärseite wird ein Hochspannungsimpuls erzeugt, der über die kapazitive Zündelektrode die Blitzröhre BR zündet, über die sich C_b entlädt.



2.8.1

Um ein solches Blitzgerät durch den Lichtblitz eines anderen zu schalten, wird demnach ein Lichtrelais benötigt, dessen Schaltkontakt an die Stelle des Kamerakontaktes tritt. Die hier beschriebene Schaltung arbeitet ohne eigene Stromquelle. Sie benutzt die 150-V-Teilspannung des Blitzgerätes, die an den Klemmen a und b liegt.

Die Fotozelle F mit dem Parallelwiderstand R 1 bildet zusammen mit dem Widerstand R 2 einen Spannungsteiler, dessen Teilspannung an der Zündelektrode der Kaltkatodenröhre Rö liegt. Durch den auf die Katode der Fotozelle fallenden Lichtblitz wird der Innenwiderstand der Zelle so klein, daß fast die ganze Spannung an R 2 steht und die Kaltkatodenröhre zündet. Das Relais Rel zieht an und schließt den Kontakt r, der die Klemmen a und b überbrückt und den Blitz auslöst.

Naturgemäß ergibt sich zwischen dem auslösenden und dem Sekundärblitz eine gewisse zeitliche Differenz. Sie überschreitet

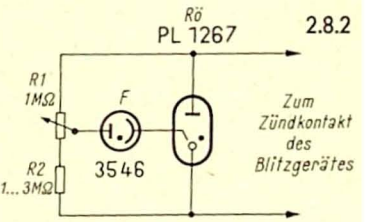
aber $^1/_{100}$ Sekunde nicht. Das ist ohne weiteres tragbar, da wegen der Toleranzen in der Synchronisierung zwischen Kameraverschluß und Blitzkontakt sowieso eine Öffnungszeit von $^1/_{50}$ Sekunde nicht unterschritten werden kann.

Die Fotozelle muß gegen direkteinfallendes Tages- oder Kunstlicht abgeschirmt sein. Zweckmäßig sitzt sie am Ende eines Rohres, das auf den auslösenden Blitz ausgerichtet ist. Man kann dann mit einer Reichweite der Einrichtung in der Größenordnung von 10 m rechnen, unter Umständen sogar mehr. Maßgebend dafür ist die Reflexion des Lichtes im Raum, selbstverständlich auch die Helligkeit bzw. der Lichtstrom des auslösenden Blitzes.

2.8.2 *Elektronischer Blitzauslöser*

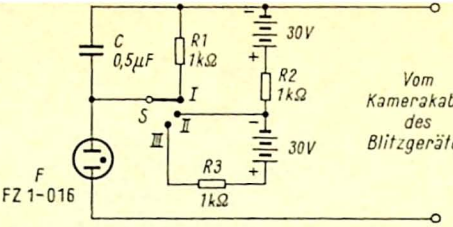
Bei der Schaltung 2.8.2 ist das elektromechanische Relais vermieden, bei dem man immerhin mit einer Schaltverzögerung von einigen Millisekunden rechnen muß. Dieser Blitzauslöser arbeitet voll elektronisch. Der Zündkreis wird durch die Kaltkatodenröhre Rö geschlossen, wenn diese zündet.

Die Vorspannung der Fotozelle F wird mit dem Widerstand R 1 so eingestellt, daß die Kaltkatoden-Relaisröhre Rö bei der vorhandenen Raumhelligkeit gerade noch nicht zündet. Der Lichtblitz des Hauptblitzes zündet dann die Röhre, die den Zündkondensator des angeschlossenen Tochter-Blitzgerätes entlädt.



2.8.3 *Einfacher elektronischer Blitzauslöser*

Der Blitzauslöser nach der Schaltung 2.8.3 ist besonders einfach. Lichtempfindliches und schaltendes Organ zugleich ist die Glimmzündlampe F. Bei genügend starkem Lichteinfall vom auslösenden Blitz zündet diese Glimmlampe und wird leitend. Der



2.8.3

angeschlossene Zündkreis der Blitzleuchte entlädt sich impulsartig über den Kondensator C und zündet die Blitzröhre. Mit dem Schalter S können Zusatzspannungen angeschaltet werden, die die Ansprechempfindlichkeit erhöhen.

3 Lichtstrahlgesteuerte Geräte

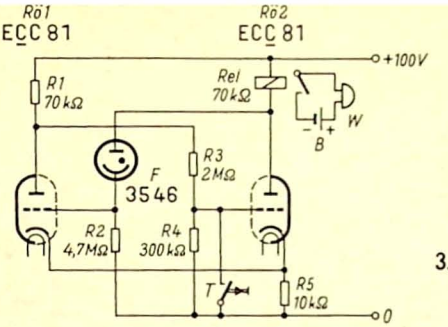
3.1 Alarmgeräte

3.1.1 *Alarmanlage*

Die Unterbrechung eines auf die Fotozelle gerichteten Lichtstrahles löst ein Alarmsignal aus, das auch im Falle der Wiederbeleuchtung erst wieder aufhört, wenn es von Hand abgestellt wird.

Die beleuchtete Fotozelle F erzeugt am Widerstand R 2 einen positiven Spannungsabfall, der das Röhrensystem Rö 1 voll aufsteuert. Dabei ist der Spannungsabfall am Anodenwiderstand R 1 so groß, daß an der Anode und somit an dem Spannungsteiler R 3/R 4 nur noch eine geringe Spannung steht. Die davon abgegriffene Teilspannung am Gitter des Röhrensystems Rö 2 ist so niedrig, daß diese Röhre gesperrt ist. Ihre Katode hat nämlich durch den beiden Röhrensystemen gemeinsamen Katodenwiderstand R 5 eine erhebliche positive Spannung.

Wird die Beleuchtung der Fotozelle unterbrochen, hören der Fotostrom und der Spannungsabfall am Widerstand R 2 auf, die Röhre Rö 1 wird gesperrt. Die Spannung an der Anode steigt und damit auch die Spannung am Gitter des Systems Rö 2. Dieses wird aufgesteuert, es fließt Anodenstrom, das Relais zieht an. Der Relaiskontakt schließt einen Alarmstromkreis, im Beispiel den eines Weckers mit eigener Stromquelle.



3.1.1

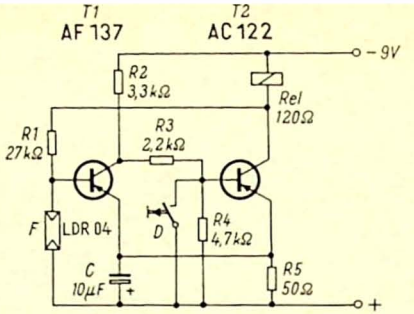
Wenn bei diesem Schaltzustand die Fotozelle wieder beleuchtet wird, bleibt der Alarm trotzdem bestehen. Durch den Spannungsabfall an der Relaiswicklung ist nämlich die Saugspannung der Fotozelle F stark erniedrigt und dadurch ihre Empfindlichkeit herabgesetzt worden. Der jetzt fließende Fotostrom erzeugt am Gitter der Röhre Rö 1 nur noch eine Spannung, die nicht ausreicht, dieses System aufzusteuern. Erst durch Handbetätigung der Taste T, die den Widerstand R 4 kurzschließt, erhält das Gitter der Röhre Rö 2 eine gegenüber der Katode negative Spannung, durch die dieses System wieder gesperrt wird. Der Spannungsabfall am Relais wird aufgehoben, die Fotozelle erhält die volle Spannung. Damit ist die Ausgangsstellung wieder hergestellt.

3.1.2 Lichtalarmgerät

Wenn Licht ausreichender Stärke auf den Fotowiderstand fällt, zieht das Relais an und bleibt angezogen, auch wenn die Beleuchtung wieder unterbrochen wird.

Licht auf den Fotowiderstand F verringert dessen Widerstandswert, so daß kein Basisstrom fließt und der Transistor T 1 gesperrt ist. Die Spannung am Kollektor wird nahezu gleich der Betriebsspannung. Damit ist die Basisspannung des Transistors T 2 so weit negativ, daß dieser aufgesteuert wird. Der Kollektorstrom betätigt das Relais Rel.

Der Emitterstrom erzeugt in dem beiden Transistoren gemeinsamen Widerstand R 5 eine Spannung, die den Schaltzustand



3.1.2

aufrechterhält, wenn die Beleuchtung des Fotowiderstandes F aufhört. Erst wenn die Emitterspannung durch die Drucktaste D kurzgeschlossen wird, sperrt die Basisspannung den Transistor T 2 und das Relais Rel fällt ab.

Derartige Einrichtungen können als Alarmanlage in Tresoren, als Feuermelder und für ähnliche Zwecke verwendet werden.

3.2 Lichtgesteuerte Generatoren

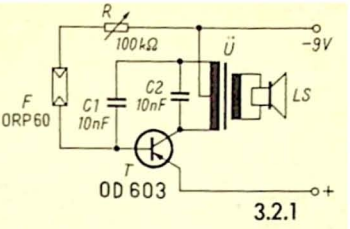
3.2.1 Fotoelektrisch gesteuerter Tongenerator

In dieser Schaltung schwingt der Tongenerator erst an, wenn der Fotowiderstand beleuchtet wird.

Der Generator arbeitet in Rückkopplungsschaltung. Der Ausgangstransformator Ü bildet die Induktivität des Schwingkreises und die Rückkopplungswicklung. Solange der Fotowiderstand F nicht beleuchtet ist, weist er einen hohen Widerstandswert auf. Die Spannung an der Basis des Transistors T ist dann so niedrig, daß der Generator nicht schwingen kann. Bei Beleuchtung des Fotowiderstandes steigt die Basisspannung an, so daß die Rückkopplungsbedingungen erfüllt sind und eine Tonfrequenz erzeugt wird. Der Einsatzpunkt kann mit dem einstellbaren Widerstand R gewählt werden.

Anstelle des als Beispiel anzusehenden Lautsprechers kann eine Leitung angeschlossen werden, durch die eine Fernanzeige der Beleuchtung möglich wird. Diese einfache Einrichtung kann

nicht nur als Alarmanlage, sondern auch für Steuerzwecke verwendet werden, da sich das Tonfrequenzsignal in einfacher Weise verstärken läßt. Mehrere Meßstellen können über eine gemeinsame Leitung angeschlossen werden, wenn die Generatoren unterschiedliche Frequenzen erhalten.



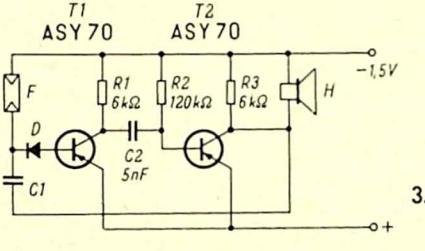
3.2.1

3.2.2 Helligkeitsgesteuerter Generator

Die Frequenz des vom Generator erzeugten Tones ist bei dieser Anordnung der Beleuchtungsstärke proportional.

Die Schaltung stellt einen zweistufigen kapazitiv gekoppelten Multivibrator dar, dessen Frequenz durch den veränderlichen Widerstandswert des Fotowiderstandes F gesteuert wird. Im Arbeitsbereich steht die Frequenz in linearem Zusammenhang mit der Stärke der Beleuchtung. Die Siliziumdiode D sorgt dafür, daß der Widerstand der Reihenschaltung mit dem Transistor T 1 auch bei geringer Helligkeit groß gegen den Fotowiderstand bleibt. Die Kurvenform der Schwingung ist stark unsymmetrisch. Der Frequenzbereich geht von einigen Hertz bis zu mehreren Kilohertz.

Das Gerät mit seinem geringen Stromverbrauch ist als Tastkopf gedacht. Es kann z. B. dazu dienen, Blinden die Beobachtung von Vorgängen zu ermöglichen, die mit Helligkeitsänderungen verbunden sind. Gleicherweise ist es möglich, der direkten Beobachtung nicht zugängliche Meßstellen und dergleichen zu

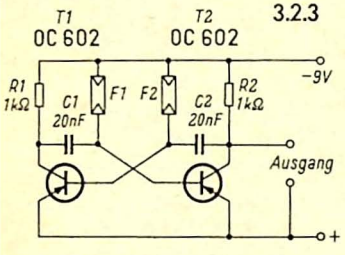


3.2.2

überwachen, wobei der Ton als Warnsignal dient. Als Tastorgan für Fernanzeige-Einrichtungen, Steuerungen und ähnliches kann diese Anordnung ebenfalls verwendet werden.

3.2.3 *Gesteuerter Multivibrator*

Mit einem Geber nach dieser einfachen Schaltung kann die Änderung der Beleuchtung von zwei Fotowiderständen sowohl nach dem Absolutwert als auch nach dem gegenseitigen Verhältnis gemessen werden.



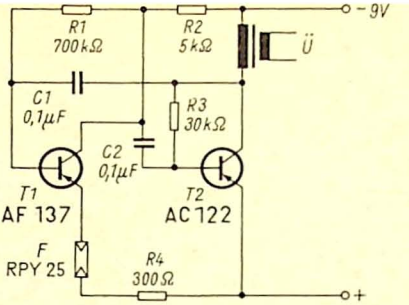
In dem symmetrischen Multivibrator, den die Schaltung darstellt, sind die Fotowiderstände F 1 und F 2 die Basiswiderstände der Transistoren T 1 und T 2. Wenn beide Fotowiderstände gleich stark beleuchtet sind und denselben Widerstandswert haben, ist das Tastverhältnis der Rechteckschwingung gleich Eins. Die Größe der Zeitkonstantenglieder aus den Koppelkondensatoren und den Fotowiderständen C 1/F 1 und C 2/F 2 bestimmt die Frequenz der Schwingung.

Bei Änderung der Helligkeit ändern sich die Leitwerte der Fotowiderstände und damit die Zeitkonstanten. Nimmt die Beleuchtung beider Fotowiderstände in gleichem Maße zu oder ab, so steigt oder sinkt die Frequenz; das Tastverhältnis Eins bleibt jedoch erhalten. Werden aber F 1 und F 2 verschieden stark beleuchtet, so verschiebt sich das Tastverhältnis der Rechteckspannung.

Ein Oszillograf zeigt Frequenz und Tastverhältnis unmittelbar als Schirmbild an. Zur Fernmessung oder für Steuerungszwecke können entsprechende Signale mit Diskriminatorschaltungen oder ähnlichen Anordnungen gewonnen werden.

3.2.4 *Lichtgeschalteter Multivibrator*

Die beiden Transistoren in der Schaltung 3.2.4 bilden einen Multivibrator, der durch Beleuchtung des Fotowiderstandes F



3.2.4

eingeschaltet wird. Die Rückkopplung entsteht dadurch, daß ein Teil der Kollektorspannung des Transistors T 2 über den Kondensator C 1 auf die Basis des Transistors T 1 zurückgeführt wird. Wenn der Fotowiderstand F beleuchtet ist, hat er einen kleinen Widerstandswert. Dann ist der Transistor T 1 aufgesteuert und der Multivibrator schwingt. Am Übertrager Ü kann die verzerrte Rechteckschwingung abgenommen, weitergeleitet oder mit einem Lautsprecher hörbar gemacht werden.

Ein Gerät mit dieser Schaltung kann zur Fernanzeige einer Beleuchtung, zum Raumschutz und dergleichen benutzt werden.

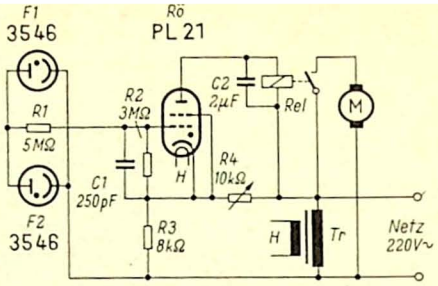
3.3 Türöffner

3.3.1 Einfacher Türöffner

Eine Einrichtung der hier beschriebenen Art ist geeignet, Türen zu öffnen, Rolltreppen in Gang zu setzen oder ähnliche Schaltaufgaben zu erfüllen, wenn eine Lichtschranke unterbrochen wird.

Die Schaltung ist so ausgelegt, daß sich die Tür öffnet, gleichgültig, von welcher Seite her eine Person, ein Fahrzeug oder Transportgut sich ihr nähert, daß sie offenbleibt, solange sich irgend etwas im Bereich der Lichtschranken befindet, und daß sie sich unabhängig von der Zeit wieder schließt, sobald der Raum vor und hinter der Tür wieder frei ist.

Die beiden Fotozellen F 1 und F 2 sind beiderseits der Tür so angebracht, daß der Lichtstrahl einer Lampe mit ihnen je eine Lichtschranke bildet, die den Raum vor der Tür so weit erfaßt,



3.3.1

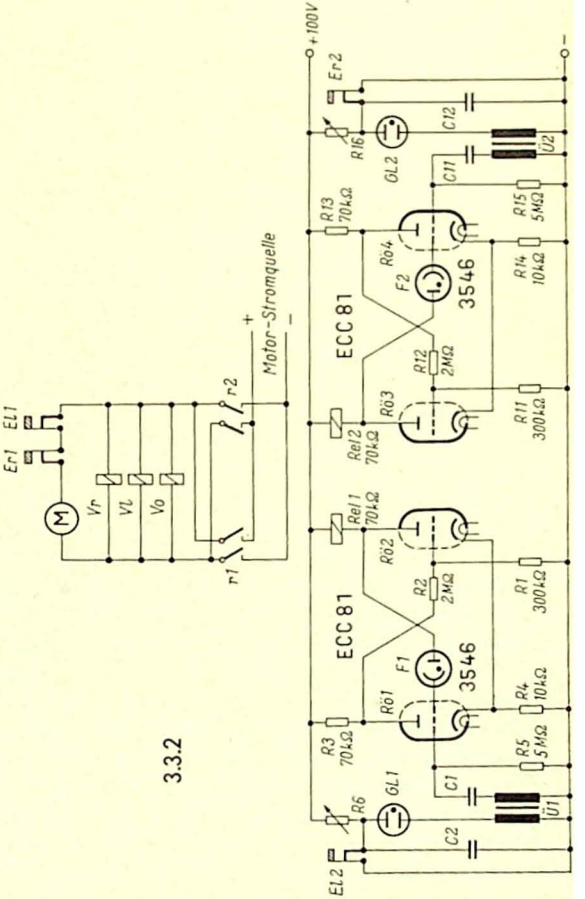
daß die Tür noch rechtzeitig voll öffnen kann, wenn eine Lichtschranke unterbrochen wird. Die Fotozellen sind parallelgeschaltet. Solange beide beleuchtet sind, fließt ein Fotostrom, der so groß ist, daß der dadurch erzeugte Spannungsabfall am Widerstand R 2 ausreicht, um das Thyratron Rö zu sperren. Wird der Lichtstrahl einer Zelle unterbrochen, sinken der Fotostrom und die negative Vorspannung so weit, daß das Thyratron zündet und das Relais anzieht. (Diese Betrachtungen gelten jeweils für die Halbwelle der Wechselspannung, bei der die Anode positiv ist.)

Der Relaiskontakt schaltet – nötigenfalls über ein Schütz – den Antriebsmotor der Tür ein. Meist wird noch ein Verriegelungsmagnet vorgesehen sein, der gleichzeitig gelöst wird. Zwischen Antrieb und Tür liegt eine Rutschkupplung oder eine ähnliche Einrichtung, die dafür sorgt, daß weder Personen noch der Motor zu Schaden kommen, wenn eine Hemmung eintritt. Ein Endlagenschalter unterbricht den Motorstrom, sobald die Tür voll geöffnet ist.

Das Relais bleibt angezogen, solange einer der beiden Lichtstrahlen durch einen Gegenstand in seinem Bereich unterbrochen ist. Frühestens, wenn bei normalem Ablauf beide Lichtschranken durchschritten sind, schließt die Tür. Dazu werden die bekannten Türschließer mit pneumatischer Bremse verwendet. Wird eine der Lichtschranken nochmals unterbrochen, während die Tür bereits begonnen hat, sich zu schließen, setzt wieder der Öffnungsvorgang ein. Selbstverständlich ist es möglich, den Beginn des Türschließens durch ein geeignetes Zeitschaltwerk zu verzögern, wenn dies notwendig ist.

3.3.2 *Türöffner mit Richtungsbestimmung*

Durch diese Schaltung wird erreicht, daß sich die Tür jeweils in der Richtung öffnet, in der sich der Passant bewegt, niemals auf ihn zu. Entsprechend kann natürlich auch die Laufrichtung einer Rolltreppe oder eines Förderbandes gesteuert werden. Nach dem Öffnen wird ein elektronischer Zeitschalter in Betrieb gesetzt, nach dessen Ablauf sich die Tür wieder schließt.



Beiderseits der Tür sind zwei gleichartige Lichtschranken angeordnet. Die beiden Röhrensysteme Rö 1 und Rö 2 bilden eine bistabile Kippschaltung. Solange Licht auf die Fotozelle F 1 fällt, ist das Gitter der Röhre Rö 1 so stark positiv, daß dieses System leitet, während Rö 2 gesperrt ist. Sobald eine hindurchschreitende Person den Lichtstrahl unterbricht, wird die Röhre Rö 1 gesperrt, die Kippschaltung kippt in die andere stabile Lage, und das System Rö 2 wird leitend. Die Relaiskontakte r 1 des im Anodenkreis liegenden Relais Rel 1 schalten den Türmotor mit solcher Polung ein, daß sich die Tür in der vorbestimmten Richtung öffnet. Zugleich wird der Verriegelungsmagnet Vo, der die Tür in der geschlossenen Lage festhält, gelöst. Die Magnete Vl und Vr legen die geöffnete Tür in ihrer linken bzw. rechten Endstellung fest.

Die Lichtschranke auf der anderen Türseite mit der Fotozelle F 2 wirkt in gleicher Weise. Die zu dem Relais Rel 2 gehörigen Kontakte r 2 schalten jedoch die entgegengesetzte Drehrichtung des Motors, so daß dieser die Tür ebenfalls von der sie steuernden Lichtschranke weg öffnet. Zugleich werden auch hier die Haltemagnete eingeschaltet.

Im Stromkreis des Motors liegen die Endschalterkontakte, Er 1 für die rechte und El 1 für die linke Endstellung, die den Antrieb ausschalten, wenn die Tür voll geöffnet ist. In dieser Stellung wird sie durch die Verriegelungen Vr bzw. Vl festgehalten.

Außerdem öffnet die Tür in ihren Endlagen den Kontakt Er 2 bzw. El 2, wodurch der elektronische Zeitgeber in Gang gesetzt wird. Sobald z. B. der Kontakt El 2 geöffnet ist, lädt sich der bis dahin kurzgeschlossene Kondensator C 2 über den Widerstand R 6 auf, bis die Zündspannung der Glimmlampe GL 1 erreicht ist. Der Zündstoß der Glimmlampe erzeugt über den Übertrager Ü 1 einen positiven Impuls am Gitter des gesperrten Röhrensystems Rö 1. Dadurch kippt der bistabile Multivibrator in seine Ausgangslage zurück, so daß nunmehr das System Rö 2 gesperrt ist und das Relais Rel 1 wieder abfällt. Damit wird die Verriegelung der Tür in der Offen-Stellung gelöst, der Magnet Vo in die Stellung gebracht, in der er die geschlossene Tür verriegelt, sobald sie diese Lage erreicht hat. Die Länge der Öffnungszeit kann mit Hilfe des Widerstandes R 6 des Zeitgebers eingestellt werden.

Wenn die Tür von der anderen Seite her geöffnet wird, sind die Vorgänge im anderen Schaltungsteil entsprechend.

Geschlossen wird die Tür entweder durch eine mechanisch-pneumatische Schließvorrichtung oder auch durch den Motor, wozu die Schaltung sich entsprechend erweitern läßt. Wird die Lichtschranke erneut unterbrochen, öffnet sich die Tür wiederum, auch wenn sie erst teilweise geschlossen sein sollte. Die Relaiskontakte r 1 und r 2 müssen mechanisch oder elektrisch gegeneinander verriegelt sein, weil sonst die Motorstromquelle kurzgeschlossen werden würde, wenn beide Lichtschranken zufällig gleichzeitig unterbrochen werden.

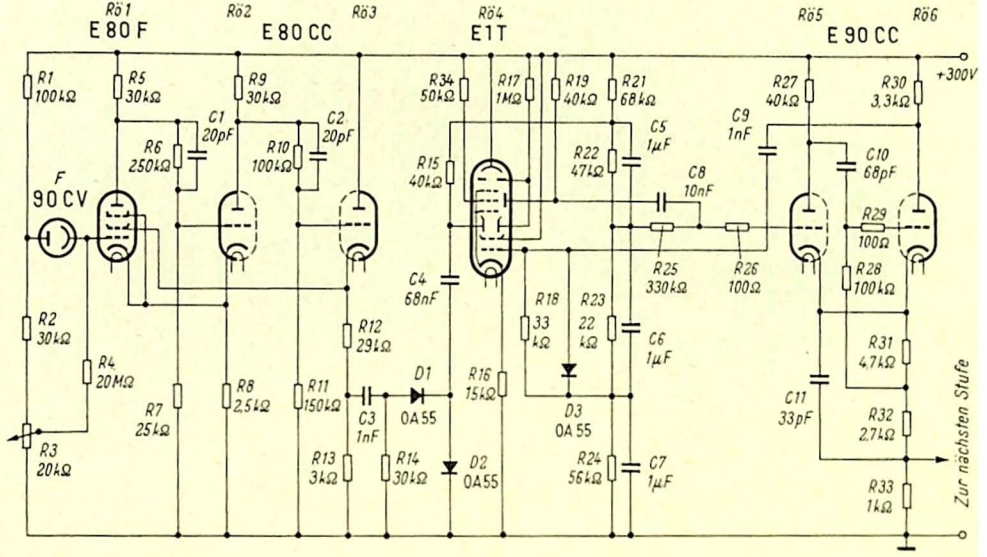
3.4 Lichtelektrische Zähler

Jedes Lichtrelais wird zum fotoelektrischen Zähler, wenn anstelle des Relais ein elektromechanisches Zählwerk eingeschaltet wird. Damit sind Zählgeschwindigkeiten bis zu 50 in der Sekunde erreichbar. Bei höheren Frequenzen sind elektronische Zähler erforderlich.

3.4.1 Elektronischer Zähler

Als Beispiel eines vollelektronischen Zählers mit fotoelektrischer Steuerung ist hier eine Schaltung unter Verwendung der dekadischen Zählröhre E 1 T gezeigt.

Der verwendete Typ der Vorverstärkerröhre Rö 1 erlaubt den hohen Wert des Gitterwiderstandes R 4, der zugleich Arbeitswiderstand der Fotozelle F ist. Lichteinfall bewirkt Anstieg des Anodenstromes und Abfall der Spannung an der Anode der Röhre. Damit auch Helligkeitsänderungen, die verhältnismäßig langsam verlaufen, steile Steuerimpulse für die Zählröhre erzeugen, ist ein Impulsformer eingeschaltet. Die Röhrensysteme Rö 2 und Rö 3 bilden einen Schmitt-Trigger, der galvanisch an die Vorstufe angekoppelt ist. Sinkt das Gitterpotential des Systems Rö 2 bei Beleuchtung der Fotozelle unter einen bestimmten Wert, so kippt der Trigger. Wird dieses Potential wieder überschritten, so kippt er zurück. Die Ansprechempfindlichkeit wird mit dem Widerstand R 3 eingestellt. Die Rückkopplung von der Katode des Röhrensystems Rö 3 auf das Schirm-


Rö1
E 80 F
Rö2
E 80 CC
Rö3
Rö4
E1T
Rö5
Rö6
E 90 CC
+300V
R1 100kΩ
R5 30kΩ
R9 30kΩ
C1 20pF
C2 20pF
R6 250kΩ
R10 100kΩ
F
90 CV
R2 30kΩ
R4 20MΩ
R7 25kΩ
R8 2,5kΩ
R3 20kΩ
R11 150kΩ
R12 29kΩ
C3 1nF
D1 OA55
R13 3kΩ
R14 30kΩ
D2 OA55
R34 50kΩ
R17 1MΩ
R19 40kΩ
R21 68kΩ
R15 40kΩ
R22 47kΩ
C5 1µF
C8 10nF
C4 68nF
R18 33 kΩ
R23 22 kΩ
R25 330kΩ
R26 100Ω
C6 1µF
D3 OA55
R16 15kΩ
R24 56kΩ
C7 1µF
R27 40kΩ
C9 1nF
R30 3,3kΩ
C10 68pF
R29 100Ω
R28 100kΩ
R31 4,7kΩ
C11 33pF
R32 2,7kΩ
R33 1kΩ
Zur nächsten Stufe

3.4.1

gitter der Röhre Rö 1 ermöglicht eine saubere Trennung zwischen der Steuerung und dem Kippvorgang.

Der an einem Teil des Katodenwiderstandes der Röhre Rö 3 abgegriffene Impuls wird durch die Kombination C 3/R 14 differentiiert. Die Dioden D 1 und D 2 schneiden den negativen Teil des differentiierten Impulses ab. Der positive Teil mit steiler Flanke steuert über die Ablenkplatten die Zählröhre Rö 4.

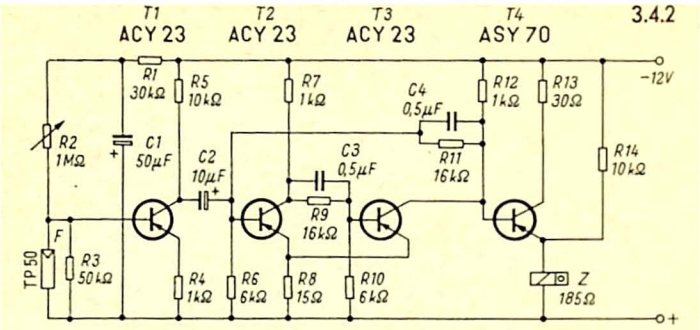
Wenn der zehnte Impuls auf die Zählröhre gegeben wird, springt der Strahl auf die Rückstell-Anode über. Dabei entsteht ein Spannungsstoß, der über den Kondensator C 8 und den Widerstand R 26 an das Gitter der Röhre Rö 5 gelangt. Diese bildet zusammen mit der Röhre Rö 6 eine monostabile Kippschaltung, die durch den Spannungsstoß zum Kippen gebracht wird und an der Anode der Röhre Rö 6 einen negativen Impuls erzeugt, der über den Kondensator C 9 als Rückstellimpuls an das Gitter der Zählröhre Rö 4 geht.

An dem Katodenwiderstand R 33 wird der Steuerimpuls für die nächste Dekadenstufe abgenommen, die genauso aufgebaut ist wie die von den Röhren Rö 4, Rö 5 und Rö 6 gebildete Schalteinheit. Danach folgen gleichartige Stufen entsprechend der Zahl der Dekaden, die angezeigt werden soll. Geräte nach dieser Schaltung können bis zu 100 000 Impulse je Sekunde zählen.

3.4.2 Zählgerät mit bistabiler Kippschaltung

Lichtquelle und Fotodiode bilden eine Lichtschranke, deren Strahlengang von hindurchlaufenden Gegenständen unterbrochen wird. Jede Unterbrechung ergibt einen exakten Zählimpuls auch dann, wenn der Übergang zwischen Hell und Dunkel schleichend erfolgt.

Die Fotodiode F ist als Fotowiderstand geschaltet. Die bei der Abdunkelung entstehende Widerstandsänderung ergibt einen Spannungsimpuls, der im Transistor T 1 verstärkt wird. Der verstärkte Impuls wird über den Kondensator C 2 der Basis des Transistors T 2 zugeführt. Dieser bildet zusammen mit dem Transistor T 3 und den gemeinsamen Schaltelementen einen bistabilen Multivibrator, also eine Kippschaltung mit zwei stabilen Zuständen. Entweder ist T 2 gesperrt und T 3 leitend, oder es ist T 3 gesperrt und T 2 leitend. Durch den Impuls an der Basis



des Transistors T 2 wird die Schaltung zum Kippen gebracht. Dadurch erhält der Transistor T 4 einen steilen Impuls an der Basis, der ihn auftastet. Der Emitterstrom bringt das elektromechanische Zählwerk Z zum Ansprechen.

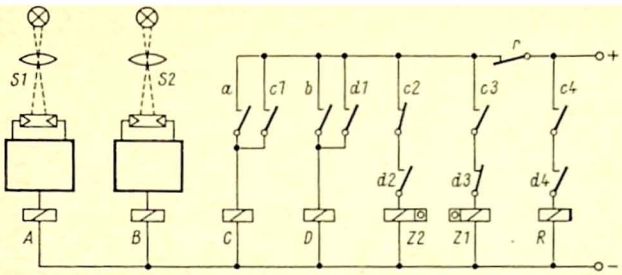
Sobald der die Schranke durchlaufende Gegenstand den Lichtstrahl auf die Fotodiode wieder freigibt, entsteht ein neuer Impuls, der, im Transistor T 1 verstärkt und entgegengesetzt gepolt, den Multivibrator in die Ausgangslage zurückkippt. Damit ist das Gerät für einen neuen Zählvorgang bereit.

Die Ansprechempfindlichkeit kann mit Hilfe des Widerstandes R 2 durch Verschieben des Arbeitspunktes des Transistors T 1 eingestellt werden. Sie ist am größten, wenn der Kollektorstrom zwischen 0,7 und 0,9 mA liegt. Es genügt dann ein Fotostrom von 15 µA, um das Zählwerk weiterzuschalten.

3.4.3 Richtungszähler

Mit einer Anordnung nach der folgenden Schaltung kann gezählt werden, wieviele Personen oder Gegenstände zwei Lichtschranken in den beiden Richtungen passiert haben. Die Differenz beider Zählerangaben zeigt dann beispielsweise an, wieviele Personen sich in einem Raume befinden. Abgesehen von den zwei Lichtschranken, für die irgendein Lichtrelais mit Dunkelschaltung verwendet werden kann, besteht der ganze Richtungszähler nur aus elektromechanischen Relais und Zählwerken.

Die beiden Lichtschranken S 1 und S 2 betätigen die Relais A und B mit den Arbeitskontakten a und b. Entsprechend sind die



3.4.3

Kontakte der Relais C, D und R mit Kleinbuchstaben bezeichnet. Das Schaltbild zeigt den Ausgangszustand.

Durchschreitet eine Person zuerst die Schranke S 1, so zieht Relais A an und schließt Kontakt a. Dadurch wird das Relais C eingeschaltet, das den Ruhekontakt c 2 öffnet und den Selbsthaltekontakt c 1 schließt. Relais C fällt also nicht wieder ab, wenn die Schranke S 1 freigegeben wird. Durch das gleichzeitige Schließen von c 3 wird das Zählwerk Z 1 um einen Schritt weitergeschaltet.

Wird nunmehr die Schranke S 2 durchschritten, so schließt das Relais B den Kontakt b, der seinerseits das Relais D einschaltet, das sich mit dem Kontakt d 1 selbst hält. Kontakt d 2 wird ebenfalls geschlossen, doch bleibt dies ohne Wirkung, da der Stromkreis durch c 2 noch geöffnet ist. Kontakt d 3 öffnet, so daß das Zählwerk Z 1 abgetrennt ist.

Werden die beiden Lichtschranken in umgekehrter Richtung durchschritten, so sind die Schaltfolgen entsprechend umgekehrt. Es schließt b; D zieht an und schließt seinen Selbsthaltekontakt d 1, öffnet d 3 und schaltet über d 2 das Zählwerk Z 2 um einen Schritt weiter. Beim Durchgang durch Schranke S 1 wird über a das Relais C geschaltet, das sich über c 1 selbst hält. Kontakt c 2 trennt das Zählwerk Z 1 von der Spannung ab. Das Schließen von c 3 bleibt ohne Wirkung, weil d 3 geöffnet ist.

Der Ausgangszustand wird nach jedem Zählvorgang dadurch wiederhergestellt, daß der Ruhekontakt r geöffnet wird, wodurch alle Relais stromlos werden. Dieser Kontakt r gehört zu dem Relais R, das dann anzieht, wenn durch die zugehörigen Relais

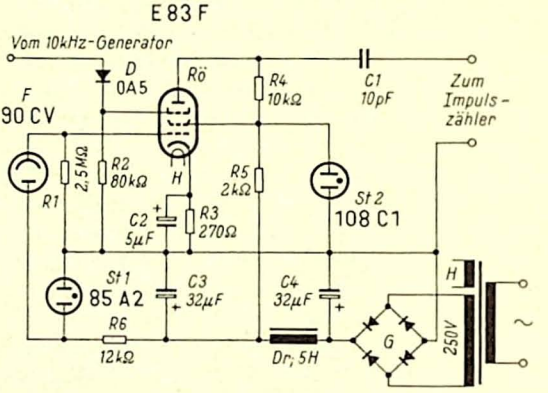
die beiden Kontakte c 4 und d 4 geschlossen sind, selbstverständlich gleichgültig in welcher Reihenfolge.

Ein entsprechend gebautes Zählwerk ermöglicht die unmittelbare Ablesung der Differenz beider Zählungen.

3.5 Geschwindigkeitsmessungen

3.5.1 Messung von Kamera-Verschlußzeiten

Die Verschlußzeiten von Fotoapparaten lassen sich naturgemäß am leichtesten auf fotoelektrischem Wege messen. Die hier beschriebene Anordnung benutzt ein Impulszählwerk, das durch den Lichtstrahl eingeschaltet wird, solange der Verschluß diesen freigibt. Die Öffnungszeit errechnet sich in einfacher Weise aus der abgelesenen Zahl der Impulse und der Pulsfrequenz.



3.5.1

Als Schalter dient die Röhre Rö. An ihrem Bremsgitter werden die Zählimpulse eingegeben. Die Diode D sperrt die negativen Halbwellen der von einem Tongenerator gelieferten Wechselspannung, so daß das Bremsgitter nur positive Impulse erhält. Bei unbeleuchteter Fotozelle F ist die Röhre jedoch gesperrt.

In der Zeit, in der der Kameraverschluß geöffnet ist, fällt Licht auf die Fotozelle und das erste Gitter der Röhre erhält eine positive Spannung. Die Röhre wird aufgesteuert, ihr Anodenstrom aber durch die Impulse am Bremsgitter getastet. Die in der

Zeit der Belichtung zum Zähler gelangenden Impulse können an diesem direkt abgelesen werden. Daraus ergibt sich die Öffnungszeit. Bei einer Pulsfrequenz von 10 kHz entsprechen z. B. 100 Impulse einer Zeit von $^1/_{100}$ Sekunde.

Die erreichbare Genauigkeit ist recht erheblich. Der im Meßprinzip liegende Fehler ist ± 1 Impuls, da nur ganze Impulse gezählt werden können. Bei einer Frequenz von 10 kHz macht das jedoch nur $^1/_{10\,000}$ Sekunde aus. Die Meßfrequenz kann zur Erhöhung der Genauigkeit quarzstabilisiert sein. Sie läßt sich aber auch sehr einfach mit der Uhr prüfen, indem die Zahl der Impulse in einer gestoppten Zeit am Zähler abgelesen wird. Auf diese Weise kann der Meßfehler vernachlässigbar klein gemacht werden.

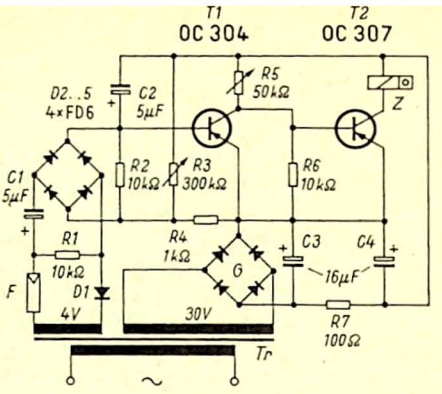
Als fotoelektrischer Wandler kann nur eine Vakuum-Fotozelle verwendet werden. Gasgefüllte Zellen und erst recht Halbleiterelemente haben eine zu große Trägheit.

3.5.2 *Schlupf-Frequenz-Messung*

Mit dieser von *Wessel* angegebenen Schaltung kann eine Frequenzdifferenz gegenüber der Netzfrequenz gemessen werden. Die Einrichtung ist beispielsweise geeignet, den Schlupf von Asynchronmotoren und somit aus der Differenz der Netzfrequenz und der Schlupffrequenz auch die Drehzahl zu bestimmen.

Der zu prüfende Motor ist mit einer Scheibe versehen, die eine der Polpaarzahl entsprechende Anzahl von Schlitzen oder Marken trägt, deren Licht auf die Fotodiode fällt. Die Fotodiode F erhält über die Gleichrichterdiode D 1 aus der 4-V-Wicklung des Netztransformators Tr in den positiven Halbwellen der Netzspannung eine Vorspannung. Fotostrom kann nur während der Zeit fließen, in der die Fotodiode positive Impulse erhält. Läuft der Motor synchron, so ist auch zeitliche Übereinstimmung zwischen der Beleuchtung und der Vorspannung der Fotodiode vorhanden, und es entsteht bei jeder Lichtmarke ein Impuls.

Bleibt infolge des bei einem Asynchronmotor immer vorhandenen Schlupfes die Drehzahl der Scheibe gegenüber der synchronen zurück, so trifft der Lichtstrahl die Fotodiode zu einem Zeitpunkt, in dem diese nicht vorgespannt ist, und es kommt kein Fotostrom zustande. Erst wenn der Motor in seinen Umdrehun-



3.5.2

gen so weit zurückgeblieben ist, daß wieder einmal Beleuchtung und Spannung an der Fotodiode zeitlich zusammenfallen, wird ein Impuls erzeugt. Dies wiederholt sich mit der Schlupffrequenz.

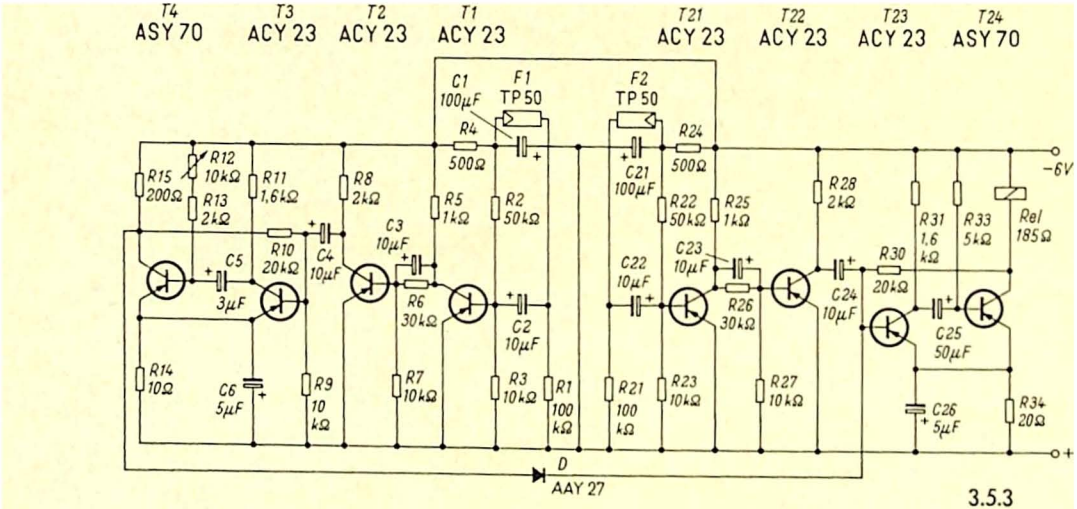
Die so erhaltenen Impulse werden über den Kondensator C 1 dem Brückengleichrichter D 2...D 5 zugeführt, der hauptsächlich dazu dient, die Netzfrequenz von der Schlupffrequenz zu trennen. Danach werden in dem zweistufigen Gleichstromverstärker mit den Transistoren T 1 und T 2 die Impulse verstärkt und einem mechanischen Zählwerk Z zugeführt. Ein geeigneter Zeitschalter legt jeweils die Meßzeit fest, nach der die Schlupfzahl oder die Drehzahl am Zählwerk abgelesen werden können.

3.5.3 Geschwindigkeits-Prüfgerät

Ein Gerät nach dieser Schaltung vergleicht den zeitlichen Abstand zweier Lichtimpulse mit einem vorwählbaren Normalwert.

Werden die beiden Lichtrelais, aus denen das Gerät besteht, in einem bestimmten räumlichen Abstand voneinander angeordnet, so läßt sich aus der Zeit, die zwischen dem Durchlaufen der beiden Lichtschranken liegt, das Einhalten einer bestimmten Geschwindigkeit prüfen.

Schaltungsmäßig sind beide Lichtrelais gleich aufgebaut. Sie arbeiten in Dunkelschaltung, d. h. die Fotodioden sind im Ruhezustand beleuchtet. Wird der Lichtstrahl auf die Fotodiode F 1 durch einen die Schranke durchlaufenden Gegenstand unter-


T4
ASY 70
T3
ACY 23
T2
ACY 23
T1
ACY 23
T21
ACY 23
T22
ACY 23
T23
ACY 23
T24
ASY 70
C1
100µF
F1
TP50
F2
TP50
R4
500Ω
R24
500Ω
C21
100µF
-6V
R15
200Ω
R12
10kΩ
R13
2kΩ
R11
1,6kΩ
R8
2kΩ
R5
1kΩ
R2
50kΩ
R22
50kΩ
R25
1kΩ
R28
2kΩ
R31
1,6
kΩ
R33
5kΩ
Rel
185Ω
C3
10µF
R10
20kΩ
C4
10µF
C5
3µF
C22
10µF
C23
10µF
R30
20kΩ
C24
10µF
R6
30kΩ
C2
10µF
R26
30kΩ
C25
50µF
R14
10Ω
C6
5µF
R9
10
kΩ
R7
10kΩ
R3
10kΩ
R1
100
kΩ
R21
100
kΩ
R23
10kΩ
R27
10kΩ
C26
5µF
R34
20Ω
+
D
AAY 27
3.5.3

brochen, so wird die Fotodiode während dieser Zeit hochohmig. Es entsteht ein Stromimpuls, der in dem zweistufigen Verstärker mit den Transistoren T 1 und T 2 verstärkt wird. Der verstärkte Impuls steuert die von den Transistoren T 3 und T 4 gebildete monostabile Kippschaltung in deren stabilem Zustand der Transistor T 4 leitend ist. Der Impuls bringt die Anordnung zum Kippen, so daß nunmehr T 3 leitet und T 4 gesperrt ist. Am Kollektor des Transistors T 4 liegt praktisch die volle Betriebsspannung. Erst nach einer Zeit, die sich aus der Größe der Zeitkonstantenglieder ergibt, kippt die Schaltung in ihre stabile Lage zurück. Rechnerisch ist die Zeitkonstante $t \approx 0{,}7 \cdot C1 \cdot (R12 + R13)$.

Durchläuft der Gegenstand die zweite Lichtschranke, so tastet der von der Fotodiode F 2 ausgehende Impuls, durch die Transistoren T 21 und T 22 verstärkt, die aus den Transistoren T 23 und T 24 bestehende monostabile Kippschaltung um, sofern der Kollektor von T 4 noch negatives Potential hat, Kombination T 3/T 4 also noch nicht in ihre Ruhelage zurückgekippt ist. Ist dies jedoch der Fall und der Kollektor von T 4 positiv, so ist über die Diode D der Eingang des Transistors T 23 kurzgeschlossen. Der Transistor T 24 wird also nur dann leitend und das Relais Rel zieht an, wenn die beiden Lichtschranken in einer Zeit durchlaufen werden, die kürzer ist als die Kippzeit der ersten Kippschaltung.

Die Kippzeit, also der Sollwert des zeitlichen Abstandes der beiden Impulse, wird mit Hilfe des Widerstandes R 12 an der Basis des Transistors T 4 eingestellt. Mit den angegebenen Schaltungswerten sind Zeiten zwischen 4 msec und 25 msec wählbar. Zur genauen Eichung ist ein Vergleich mit bekannten Größen notwendig. Mit einem Pendel oder einem freifallenden Körper können kurze Zeiten exakt definiert werden. Der Meßbereich für die Geschwindigkeit läßt sich durch die Wahl des räumlichen Abstandes der Lichtschranken in weiten Grenzen verändern und dem Bedarf anpassen.

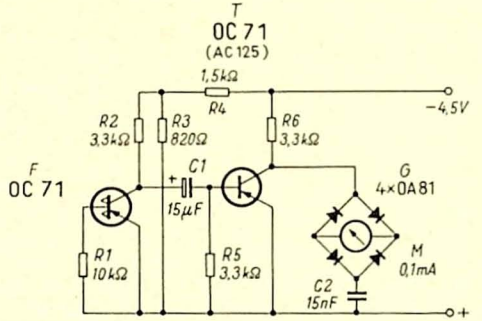
Das Gerät ist geeignet, die Geschwindigkeit von Fahrzeugen, Transportbändern und dergleichen zu überwachen. Bei entsprechend angebrachten Marken können auch Drehzahlen mit einem Sollwert verglichen werden. Das Relais oder eine an seiner Stelle eingeschaltete, passend dimensionierte Glühlampe zeigt

an „zu schnell". Das Relais kann aber auch Stellglieder betätigen, die die Drehzahl oder Geschwindigkeit regeln.

3.6 Frequenzmessungen

3.6.1 Drehzahlzeiger

Drehzahlmessungen auf fotoelektrischem Wege sind deshalb besonders vorteilhaft, weil keinerlei mechanische oder elektrische Verbindung zwischen der Maschine und dem Meßgerät zu bestehen braucht. Es genügt eine Lochscheibe oder in den meisten Fällen schon eine helle oder dunkle Marke auf der Welle, um mit Hilfe einer Lichtquelle zur Messung verwendbare Impulse zu erzeugen.



3.6.1

Das Gerät nach der Schaltung 3.6.1 ist ein Frequenzzeiger. Mit ihm wird die Drehzahl aus der Pulsfrequenz bestimmt, die das durch die rotierende Lochscheibe fallende oder von den Marken auf der Welle reflektierte Licht erzeugt. F ist ein Fototransistor, gegebenenfalls auch ein normaler Transistor in Glasgehäuse, dessen Lackschicht abgekratzt ist und auf dessen Kristall der Lichtstrahl konzentriert wird. Der Fototransistor wandelt die Lichtimpulse in Stromimpulse um, die den Transistor T auftasten. Dessen Arbeitspunkt ist so eingestellt, daß er im Übersteuerungsgebiet arbeitet. Im Ruhezustand ist er gesperrt, es fließt praktisch kein Kollektorstrom. Am Kollektor steht die volle Betriebsspannung von −4,5 V. Die Tastimpulse steuern den Transistor voll durch. Die Spannung am Widerstand

R 6 ist dann nur um den Spannungsabfall im Transistor in der Größenordnung von 0,3 V kleiner als die Betriebsspannung. An den Kondensator C 2 gelangt somit über den Brückengleichrichter G eine Rechteckspannung von 4,2 V. Die negativen Halbwellen laden den Kondensator auf. In den positiven entlädt er sich. Die Gleichrichterbrücke bewirkt, daß Lade- und Entladestrom gleichsinnig durch das Meßinstrument M fließen. Der mittlere Strom und damit die Anzeige des Instrumentes ist proportional der Pulsfrequenz und somit der Drehzahl.

Mit den im Schaltbild angegebenen Werten ergibt eine Pulsfrequenz von 750 Hz Vollausschlag des Meßinstrumentes. Die Zahl der Lichtmarken ist entsprechend der zu messenden Drehzahl zu wählen. Um beispielsweise einen Meßbereich bis zu 3000 U/min zu erhalten, sind fünfzehn Marken auf dem Umfang erforderlich.

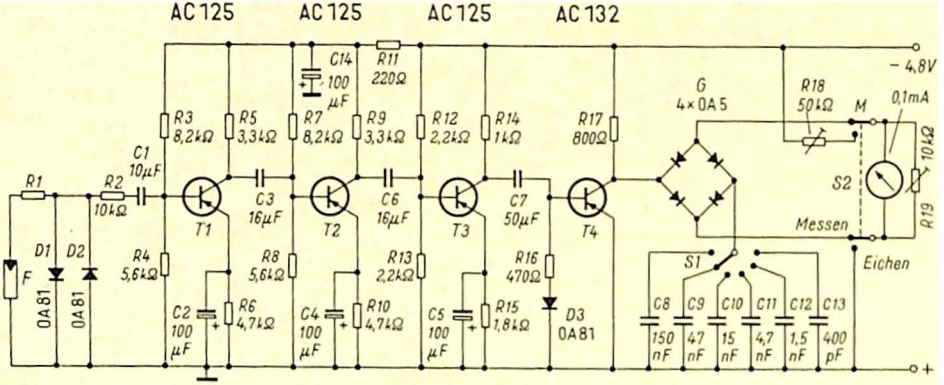
Die Anzeige ist bei diesem einfachen Gerät naturgemäß von der Betriebsspannung abhängig, die bei jeder Messung kontrolliert werden soll. Auch die Temperaturabhängigkeit der Transistoren ist zu berücksichtigen.

3.6.2 Frequenzmesser

Dieses Gerät zeigt an einem Instrument direkt die Pulsfrequenz von Lichtblitzen an und zeichnet sich durch Empfindlichkeit und Genauigkeit aus. Es kann bei entsprechender Ausbildung der Geberorgane als Geschwindigkeits- oder Drehzahlmesser und dergleichen verwendet werden.

Das Fotoelement F wandelt die Lichtimpulse in Spannungsimpulse um, deren Amplituden in beiden Richtungen durch die Dioden D 1 und D 2 begrenzt werden. Diese Impulse werden in zwei Stufen mit den Transistoren T 1 und T 2 verstärkt und durch den Transistor T 3 aus beliebiger Kurvenform in Rechteckimpulse umgeformt. Diese steuern den Schalttransistor T 4 jeweils voll durch. Die Kombination des Widerstandes R 16 mit der Diode D 3 leitet Aufladungen des Koppelkondensators C 7 ab.

Über den Widerstand R 17 lädt sich derjenige der Kondensatoren C 8 bis C 13, der mit dem Bereichschalter S 1 eingeschaltet ist, auf, solange T 4 gesperrt ist. In der Zeit, in der der Transistor


AC 125
AC 125
AC 125
AC 132
R1
R2
10kΩ
C1
10µF
D1
D2
F
0A81
0A81
R3
8,2kΩ
R4
5,6kΩ
R5
3,3kΩ
R6
4,7kΩ
C2
100
µF
T1
C3
16µF
C14
100
µF
R7
8,2kΩ
R8
5,6kΩ
R9
3,3kΩ
R10
4,7kΩ
C4
100
µF
T2
C6
16µF
R11
220Ω
R12
2,2kΩ
R13
2,2kΩ
R14
1kΩ
R15
1,8kΩ
C5
100
µF
T3
C7
50µF
R16
470Ω
D3
0A81
T4
R17
800Ω
G
4×0A5
R18
50kΩ
M
0,1mA
10kΩ
R19
S2
Messen
Eichen
S1
C8
150
nF
C9
47
nF
C10
15
nF
C11
4,7
nF
C12
1,5
nF
C13
400
pF
− 4,8V
+

3.6.2

T 4 aufgetastet ist, entlädt sich der Kondensator. In den Stromkreis ist das Meßinstrument M geschaltet, und zwar über die Graetzbrücke G, so daß es sowohl den Lade- als auch den Entladestrom anzeigt. Der Strom ist der Pulsfrequenz und der Ladekapazität proportional. Durch Umschalten der Kondensatoren mit dem Schalter S 1 kann demnach der Frequenzmeßbereich gewählt werden. Die im Schaltbild angegebenen Werte ergeben aneinander anschließende Bereiche von 100 Hz bis 30 kHz.

Da die Meßgenauigkeit wesentlich vom Einhalten der Betriebsspannung abhängt, ist der Umschalter S 2 vorgesehen, mit dem das Anzeigeinstrument als Spannungsmesser umgeschaltet werden kann. Es empfiehlt sich, vor und nach jeder Messung die Spannung zu prüfen.

Geeicht wird das Gerät entweder mit einer Glimmlampe, die bei Netzfrequenz Lichtblitze mit einer Frequenz von 100 Hz liefert, oder mit einer stroboskopischen Scheibe, die durch einen Synchronmotor angetrieben wird. Übereinstimmung der verschiedenen Meßbereiche muß jedoch durch entsprechenden Abgleich der Kondensatoren C 8 bis C 13 hergestellt werden. Diese sind so gestuft, daß sich die Frequenzbereiche 0,1 – 0,3 – 1 – 3 – 10 – 30 kHz ergeben. Es müssen induktionsfreie Kondensatoren mit hochwertiger Isolation verwendet werden.

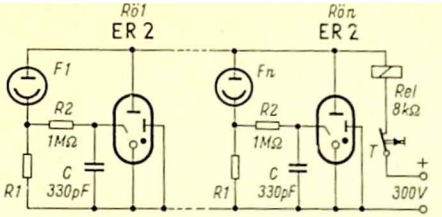
4 Steuer- und Regelschaltungen

4.1 Überwachungs- und Sortiergeräte

4.1.1 Vielstellen-Überwachung

Die Aufgabe, eine Vielzahl von nahe beieinanderliegenden Stellen fotoelektrisch zu überwachen, ist leicht zu lösen, wenn es sich um eine Dunkelsteuerung handelt. Hierzu ist es nur notwendig, einen Lichtstrahl, beispielsweise durch Umlenken mit Spiegeln, so zu führen, daß eine Unterbrechung des Strahles an irgendeiner Stelle ein Lichtrelais auslöst.

Zum Überwachen der Materialzuführung bei Maschinen, die sofort stillgesetzt werden müssen, wenn eines der zuzufüh-



4.1.1

renden Teile fehlt, ist jedoch meist eine Hellsteuerung erforderlich. Auch wenn die zu überwachenden Stellen weit auseinanderliegen, muß jeder von ihnen ein eigener Fühler zugeordnet werden. Diese sollen im Hinblick auf ihre oft große Zahl einen möglichst geringen Aufwand benötigen.

In dieser Schaltung besteht jeder Abtastkopf aus einer Fotozelle F und einer zugehörigen Kaltkatodenröhre Rö, die zündet, wenn die Beleuchtung der Fotozelle, z. B. durch Fadenbruch bei einem Webstuhl, zunimmt. Sobald eine der Röhren gezündet hat, zieht das in der gemeinsamen Zuleitung liegende Relais Rel an. Da die Spannung an allen Anoden auf die Brennspannung absinkt, kann keine weitere Röhre mehr zünden. Das Glimmlicht der gezündeten Röhre zeigt die Fehlerstelle optisch an. Das Relais setzt die Maschine still oder löst ein Alarmsignal aus.

Sobald die Ursache der Störung beseitigt ist, wird durch einen Druck auf die Taste T der Anodenstrom kurz unterbrochen; die gezündete Röhre löscht, das Relais und seine Kontakte gehen in die Ruhestellung. Damit ist das Gerät wieder betriebsbereit.

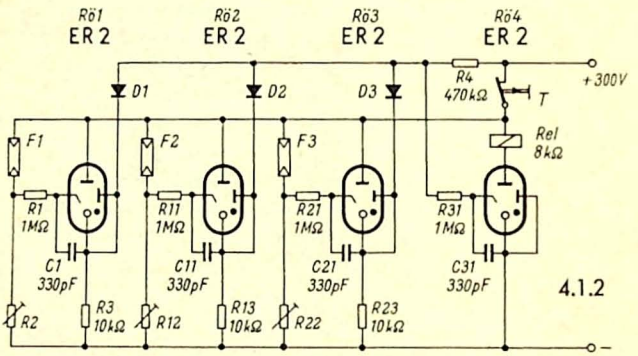
4.1.2 Koinzidenzschaltung

Häufig ist die Aufgabe gestellt, einen Schaltvorgang nur dann auszulösen, wenn mehrere Bedingungen zusammen erfüllt sind. Wenn dies durch Licht angezeigt werden kann, sei es im einfachsten Falle durch z. B. drei Lampen oder durch die Freigabe von mehreren Lichtstrahlen, die einen Raumabschnitt umgrenzen, oder in irgendwie ähnlicher Weise, so kann ein Gerät nach der hier vorliegenden Schaltung verwendet werden.

Drei gleichartige Lichtrelais bestehen aus den Fotowiderständen F 1 bis F 3 und den Kaltkatodenröhren Rö 1 bis Rö 3. Bei ausreichend starker Beleuchtung sinkt der Widerstandswert des

Fotowiderstandes, die Spannung an der Starterelektrode steigt, und die Röhre zündet. Der Zündeinsatzpunkt wird mit Hilfe der Widerstände R 2, R 12, R 22 eingestellt.

Die Röhre Rö 4 zündet ebenfalls, sobald die Starterspannung den Wert von 130 V übersteigt. Solange jedoch nur eine der drei Steuerröhren noch nicht gezündet hat, kann dieser Wert nicht erreicht werden. Bei der nichtgezündeten Röhre ist nämlich die Hintereinanderschaltung des Katodenwiderstandes (R 3, R 13, R 23) mit der zugehörigen Diode (D 1, D 2, D 3) niederohmig gegen den Widerstand R 4. An diesem fällt somit praktisch die ganze Anodenspannung ab, und die Starterelektrode der Relaisröhre Rö 4 erhält nur eine niedrige Spannung, die zum Zünden nicht ausreicht.



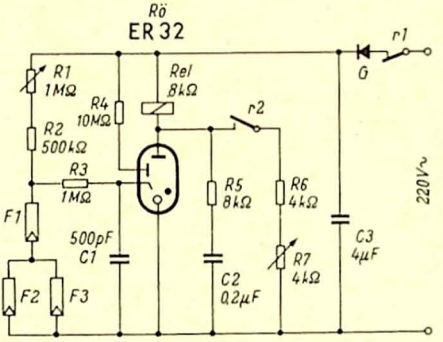
Erst wenn alle Steuerröhren gezündet haben, steigt die Spannung am Starter der Röhre Rö 4 so weit an, daß diese ebenfalls zündet und das Relais Rel anzieht. Dieser Zustand bleibt, wenn er einmal hergestellt ist, auch dann erhalten, wenn eine oder mehrere oder auch alle Steuerröhren wieder löschen, weil die zugehörigen Fotowiderstände inzwischen nicht mehr beleuchtet sind. Erst wenn die Taste T kurz gedrückt und damit der Anodenstrom unterbrochen wird, löscht die Relaisröhre Rö 4 wieder, und das Relais fällt ab. Nach dem Loslassen der Taste ist der Ausgangszustand und damit die Betriebsbereitschaft wieder hergestellt.

Die Anzahl der Steuerröhren und damit der in die Überwachung einzubeziehenden Stellen kann beliebig vermehrt werden. Der Stromverbrauch der Anlage im Ruhezustand ist minimal.

4.1.3 *Sortiergerät*

Ein Gerät nach der folgenden Schaltung ermöglicht in einfacher Weise und mit geringem Aufwand eine Größensortierung von Gegenständen.

Drei Fotodioden sind z. B. neben einem Förderband so angeordnet, daß auf diesem vorbeiwandernde Gegenstände bei entsprechender Höhe die Fotodiode F 1 abdecken und bei entsprechender Breite zusätzlich die beiden Fotodioden F 2 und F 3



4.1.3

gleichzeitig abdecken. F 2 und F 3 sind einander parallel- und mit F 1 hintereinandergeschaltet. Sie steuern die Kaltkatodenröhre Rö.

Solange alle Fotodioden beleuchtet sind, ist ihr Widerstand gering, und die Spannung an der Starterelektrode der Röhre ist niedrig. Wird die Fotodiode F 1 abgedunkelt, so steigt ihr Widerstand und damit die Spannung am Starter. Die Röhre zündet, das Relais Rel zieht an. Wird nur eine der beiden parallelgeschalteten Fotodioden F 2 oder F 3 abgedeckt, nicht aber die andere, so bleibt die Parallelschaltung niederohmig. Nur wenn die beiden Dioden gleichzeitig abgedunkelt sind, ist ihr gemeinsamer Widerstandswert hoch.

Demnach zündet die Kaltkatodenröhre und zieht das Relais an, wenn entweder die Fotodiode F 1 für sich allein, oder wenn F 2 und F 3 gleichzeitig oder auch, wenn alle drei Fotodioden gleichzeitig abgedunkelt sind. Die Einrichtung spricht also an, wenn ein durchlaufender Gegenstand entweder so hoch ist wie das Maß für den Lichtstrahl der Fotodiode F 1 oder so breit wie der Abstand zwischen F 2 und F 3 oder aber größer als der Freiraum zwischen den drei Lichtstrahlen.

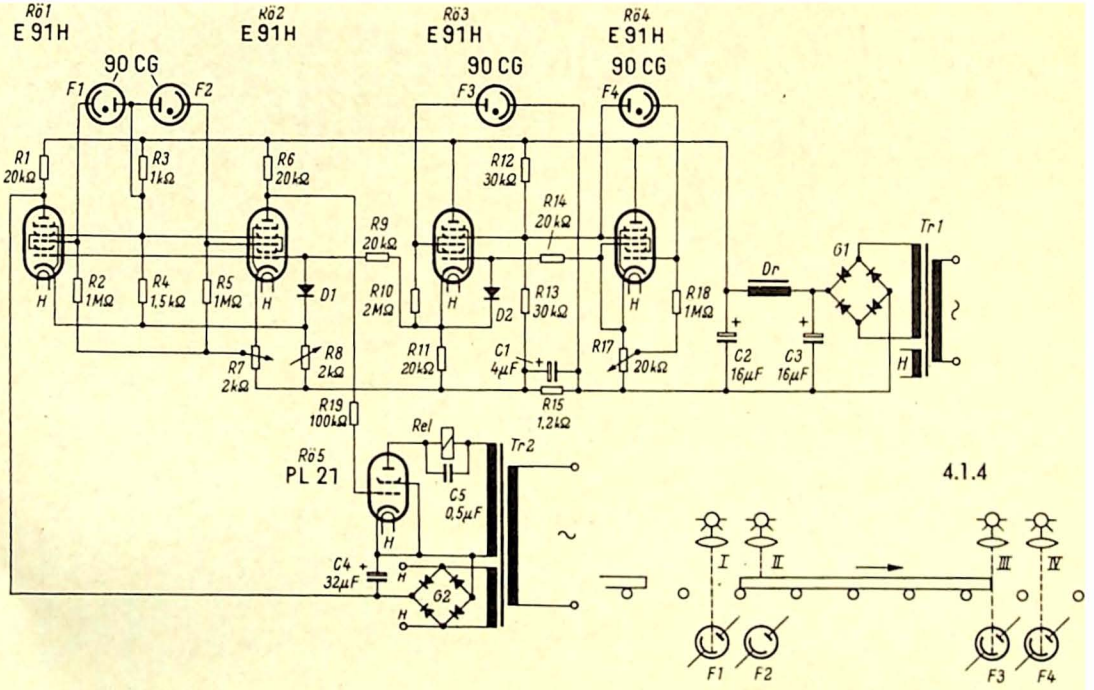
Nach einmaligem Zünden bleibt der Schaltzustand der Kaltkatodenröhre erhalten, auch wenn die Fotodioden wieder beleuchtet sind. Der Ausgangszustand muß durch Unterbrechen des Anodenstromes wieder hergestellt werden. Das Schaltbild zeigt eine Anordnung, bei der das Relais eine Falle oder Weiche zum Aussondern steuert, durch die die Prüflinge nach ihrer Größe getrennt werden. Zugleich betätigt es die Relaiskontakte r 1 und r 2, die kurzzeitig die Netzzuleitung unterbrechen und die Röhre überbrücken, wodurch selbsttätig wieder die Betriebsbereitschaft hergestellt wird.

4.1.4 Längentoleranz-Messung

Die hier beschriebene Schaltung ist geeignet, Werkstücke innerhalb eines vorgeschriebenen Längenbereiches auszulesen bzw. längere und kürzere Stücke auszuscheiden. Die zu prüfenden Teile werden auf einem Transportband an vier Lichtschranken I bis IV mit den Fotozellen F 1 bis F 4 vorbeigeführt. Der Abstand zwischen den Schranken I und III ist die Soll-Länge. Der Abstand zwischen I und II bzw. zwischen III und IV ist jeweils die halbe zulässige Längenabweichung.

Das Werkstück durchläuft auf dem Transportband nacheinander die vier Lichtschranken. Liegt seine Länge innerhalb der zulässigen Meßabweichungen, so ist der Lichtstrahl der Schranke I wieder frei, der Strahl bei II aber noch unterbrochen, wenn der Strahl der Schranke III ebenfalls abgedeckt wird. Ein Werkstück, dessen Länge die Soll-Länge unterschreitet, gibt den Strahl bei I und bei II schon frei, wenn III unterbrochen wird.

Die Aufgabe besteht demnach darin, einen Schaltvorgang zum Betätigen eines Auslesemechanismus jeweils dann auszulösen, wenn das Werkstück außerhalb der Toleranz liegt. Die erforder-


Rö1
E 91H
Rö2
E 91H
Rö3
E 91H
Rö4
E 91H
90 CG
90 CG
90 CG
F1
F2
F3
F4
R1 20kΩ
R2 1MΩ
R3 1kΩ
R4 1,5kΩ
R5 1MΩ
R6 20kΩ
R7 2kΩ
R8 2kΩ
R9 20kΩ
R10 2MΩ
R11 20kΩ
R12 30kΩ
R13 30kΩ
R14 20kΩ
R15 1,2kΩ
R17 20kΩ
R18 1MΩ
R19 100kΩ
D1
D2
C1 4µF
C2 16µF
C3 16µF
C4 32µF
C5 0,5µF
Dr
G1
G2
Tr1
Tr2
Rel
Rö5
PL 21
H
4.1.4
I
II
III
IV
F1
F2
F3
F4

liche Mehrfachsteuerung wird durch die Verwendung von Heptoden ermöglicht, bei denen der Anodenstrom über zwei voneinander unabhängige Gitter gesteuert werden kann.

Vom Spannungsteiler R 3/R 4/R 7/R 8 wird die Saugspannung für die Fotozellen F 1 und F 2, die Spannung für die zweiten und vierten Gitter der Röhren Rö 1 und Rö 2 und die Katodenspannung dieser Röhren abgenommen. Der Abgriff am Widerstand R 7 erteilt den dritten Gittern der Röhren Rö 1 und Rö 2 eine gegenüber der Katode negative Sperrspannung. Die von den Fotozellen F 1 und F 2 bei Beleuchtung erzeugte Fotospannung wirkt der Sperrspannung entgegen und hebt sie auf. Damit Anodenstrom fließt, muß jedoch auch die Vorspannung des ersten Gitters genügend niedrig sein.

Die ersten Gitter der Röhren Rö 1 und Rö 2 sind mit der Katode der Röhre Rö 3 verbunden. Diese wird von der Fotozelle F 3 gesteuert. Wenn sie abgedunkelt wird, fließt in der Röhre Rö 3 Anodenstrom, die Spannung an ihrer Katode steigt und damit das Potential der ersten Gitter der Röhren Rö 1 und Rö 2.

Im Ruhezustand, also bei Beleuchtung aller Fotozellen, fließt somit Anodenstrom, und zwar von gleicher Größe, in den Röhren Rö 1 und Rö 2. An ihren Anoden herrscht gleiches Potential. Ist jedoch die Fotozelle F 1 abgedunkelt, fließt kein Anodenstrom durch Rö 1. Das Potential an ihrer Anode ist praktisch das der Speisespannung und somit höher als das der leitenden Röhre Rö 2. Die umgekehrte Spannungsdifferenz ergibt sich, wenn F 2 abgedunkelt und F 1 beleuchtet ist.

Diese Spannungsdifferenz steuert das Thyratron Rö 5, das im Ruhezustand durch eine negative Vorspannung gesperrt ist, die der Gleichrichter G 2 aus der Heizspannung erzeugt. Wenn die Differenzspannung an den Anoden der Röhren Rö 1 und Rö 2 positiv ist, wenn nämlich die Fotozelle F 1 beleuchtet und F 2 dunkel ist, zündet das Thyratron. Es betätigt das Relais Rel, das alle weiteren Einrichtungen wie den Auswahlmechanismus usw. steuert. Ist nur F 2 allein oder F 1 und F 2 gleichzeitig beleuchtet, während F 3 abgedeckt ist, spricht das Relais nicht an.

Erreicht die Vorderkante des Prüflings die vierte Lichtschranke, so wird die Röhre Rö 4 gesperrt. Ihre Katodenspan-

nung, zugleich die Vorspannung für das erste Gitter der Röhre Rö 3, sinkt, wodurch Rö 3 gesperrt wird. Dadurch werden wiederum die Röhren Rö 1 und Rö 2 gesperrt.

Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Werkstücken muß ein Abstand eingehalten werden, der größer ist als der Abstand zwischen F 1 und F 2. Das kann durch eine mechanische Sperre erreicht werden, die den Zutritt für das nächste Teil erst freigibt, wenn die Schranke I frei ist. Der Steuerbefehl kann von dieser abgenommen werden.

4.2 Richtungsabhängige Steuerungen

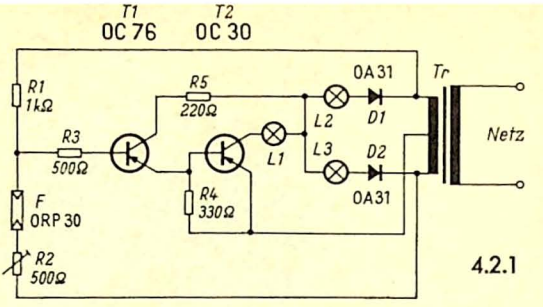
4.2.1 *Anzeige von Helligkeitsänderungen*

Diese Anordnung zeigt Abweichungen vom Nennwert der Beleuchtungsstärke nach Größe und Richtung durch Glühlampen an.

Die Schaltung stellt eine mit Wechselstrom gespeiste Phasenbrücke dar, deren veränderlichen Zweig der Fotowiderstand F bildet. Das Brückengleichgewicht, das beim Sollwert der Helligkeit mit dem Widerstand R 2 eingestellt worden ist, verschiebt sich bei Zu- oder Abnahme der Beleuchtung des Fotowiderstandes nach der einen oder anderen Seite gemäß der Änderung des Widerstandswertes des Fotowiderstandes.

In der Brückendiagonale entsteht eine Wechselspannung, deren Amplitude der Größe der Helligkeitsänderung entspricht und deren Phasenlage davon abhängt, ob die Beleuchtung des Fotowiderstandes stärker oder schwächer wurde. Diese Spannung steuert den zweistufigen, galvanisch gekoppelten Verstärker mit den Transistoren T 1 und T 2.

Bei jeder Abweichung vom Brückengleichgewicht, gleichgültig in welcher Richtung, fließt im Kollektorkreis des Transistors T 2 ein Strom, der die Glühlampe L 1 zum Leuchten bringt, wenn die Abweichung eine bestimmte Größe überschreitet. Die Glühlampen L 2 und L 3 sind mit den Leistungsdioden D 1 und D 2 hintereinandergeschaltet. Entsprechend deren Durchlaßrichtung fließt je nach Phasenlage der Steuerspannung nur in der positiven oder in der negativen Halbwelle der Wechselspannung Strom. Es brennt also entweder die Lampe L 2 oder L 3, die somit die gestiegene oder gefallene Beleuchtungsstärke anzeigen, wäh-



rend L 1 bei Überschreiten des Schwellwertes der Abweichung aufleuchtet.

An die Stelle der Glühlampen können selbstverständlich Meßinstrumente, Relais oder die Feldwicklungen von Motoren, sei es unmittelbar oder mittelbar, treten. Auf diese Weise können die verschiedenartigsten Steuerungen und Regeleinrichtungen betrieben werden.

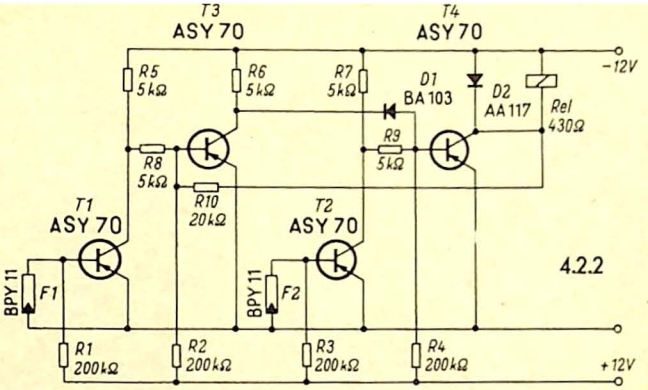
4.2.2 Richtungsabhängige Steuerung

Das Relais zieht in dieser Schaltung an, wenn zuerst der Lichtstrahl auf das eine Fotoelement und danach der auf das andere unterbrochen wird. Es fällt ab, wenn die Reihenfolge umgekehrt ist.

Solange die beiden Fotoelemente F 1 und F 2 so stark beleuchtet sind, daß sie einen Fotostrom von wenigstens 0,15 mA erzeugen, sind die Transistoren T 1 und T 2 voll durchgesteuert. An den Kollektoren bleibt nur eine geringe Restspannung.

Die Transistoren T 3 und T 4 bilden eine Triggerschaltung, bei der im Ausgangszustand der Transistor T 3 Strom führt. Die Spannung an seinem Kollektor ist sehr niedrig, wodurch der folgende Transistor T 4 gesperrt und das Relais Rel praktisch stromlos ist.

Wird die Beleuchtung des Fotoelementes F 1 unterbrochen, so hört der negative Basisstrom des Transistors T 1 auf. Die positive Spannung über den Widerstand R 1 sperrt ihn. Das hat eine Potentialverschiebung am Kollektor und damit an der Basis des



Transistors T 3 zur Folge, doch ändert sich an dessen Schaltzustand nichts, da er bereits voll durchgesteuert ist.

Wird nunmehr das Fotoelement F 2 abgedunkelt, so sperrt die positive Spannung den Transistor T 2. Der Potentialsprung an seinem Kollektor steuert den Transistor T 4 auf. Das Relais zieht an. Der Spannungsabfall an der Relaiswicklung setzt über den Widerstand R 10 die Spannung an der Basis des Transistors T 3 herab, der infolgedessen jetzt gesperrt wird.

Dieser Schaltzustand bleibt erhalten, wenn das Fotoelement F 2 wieder beleuchtet, und auch wenn es erneut abgedeckt wird. Erst bei Abdunkelung des Fotoelementes F 1 wird der Transistor T 3 durch die nunmehr negative Spannung am Kollektor des Transistors T 1 durchgesteuert. Der Trigger kippt, Transistor T 4 wird gesperrt, das Relais fällt ab.

Anordnungen nach dieser Schaltung können als elektronischer Endschalter, zur Meldung von Zeigerausschlägen, auch als Steuerglied für Justiereinrichtungen und dergleichen verwendet werden.

4.3 Regelgeräte für Maschinen

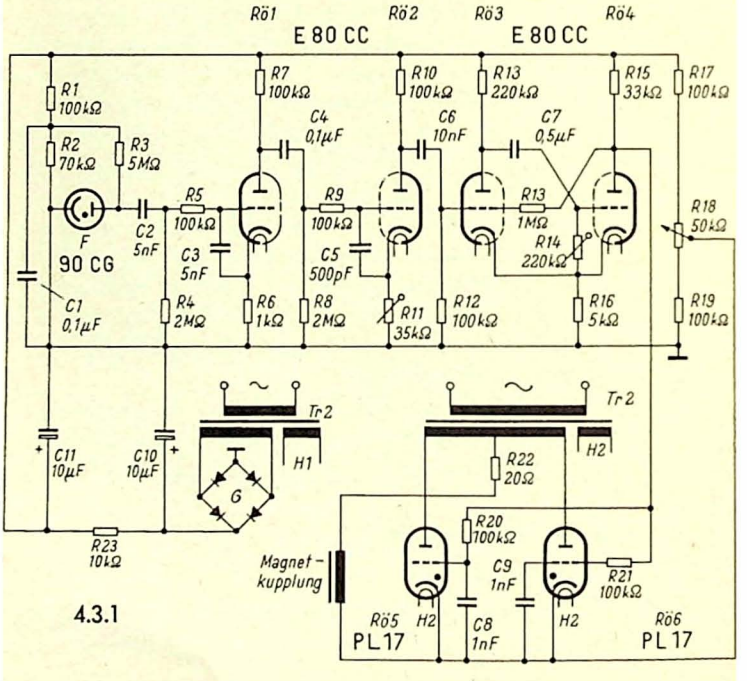
4.3.1 Kupplungs-Steuerung

Bei der folgenden Schaltung wird ein Antrieb durch Auskuppeln, von einer Lichtschranke gesteuert, kurzzeitig stillge-

setzt. Die Schaltung kann z. B. dazu dienen, den Lauf einer Papierbahn zu unterbrechen, um sie zu bedrucken, zu heften, zu schneiden oder dergleichen. Die Steuerimpulse werden von aufgedruckten Marken gegeben. Die Dauer der Unterbrechung bestimmt ein elektronischer Zeitgeber.

Abdunkelung des vom Papier auf die Fotozelle F reflektierten Lichtstrahles durch eine Marke erzeugt einen positiven Impuls, der im Röhrensystem Rö 1 und danach im System Rö 2 verstärkt wird. Der Verstärkungsgrad ist durch Verstellen des Katodenwiderstandes R 11 wählbar. Der verstärkte Impuls ist an der Anode der Röhre Rö 2 wieder positiv gerichtet. Mit ihm wird die aus den beiden Röhrensystemen Rö 3 und Rö 4 bestehende monostabile Kippschaltung getastet.

Im Ruhezustand, also bei beleuchteter Fotozelle, ist Rö 3 gesperrt und Rö 4 leitend. Somit ist die Spannung an der Anode



4.3.1

von Rö 4 infolge des Spannungsabfalls am Anodenwiderstand R 15 niedrig. Diese Spannung liegt an den Gittern der beiden Thyratrone Rö 5 und Rö 6, die bei diesem Zustand gesperrt sind.

Der durch die Marke ausgelöste Impuls bringt die Anordnung zum Kippen und zwar dadurch, daß der Impuls am Gitter der Röhre Rö 3 einen Spannungsabfall am Anodenwiderstand R 13 bewirkt, der den Kondensator C 7 auflädt. Dadurch wiederum wird das Gitter der Röhre Rö 4 negativ und dieses System gesperrt. Die Spannung an der Anode der Röhre Rö 4 steigt auf die Höhe der Betriebsspannung. Damit werden die angeschlossenen Thyratrone Rö 5 und Rö 6 aufgetastet. Sie wirken als Gegentaktgleichrichter und lassen einen Gleichstrom durch die Wicklung der Magnetkupplung fließen. Diese kuppelt aus und der Antrieb steht still.

Die Ladung des Kondensators C 7 fließt über den Widerstand R 14 je nach dessen eingeschalteter Größe mehr oder weniger schnell wieder ab, bis die Spannung am Gitter der Röhre Rö 4 so weit angestiegen ist, daß dieses System leitend wird und die Schaltung in die stabile Lage zurückkippt. Die Zeitdauer, während der bei jedem Spiel die Magnetkupplung auskuppelt und den Antrieb stillsetzt, kann also mit dem Widerstand R 14 eingestellt werden. Bei der angegebenen Dimensionierung ergeben sich Zeiten zwischen 0,1 und 1 Sekunde.

4.3.2 Geschwindigkeits-Regelung

Vorrichtungen dieser Art sind besonders für Verpackungsmaschinen geeignet, bei denen mit regelmäßig wiederkehrenden Bildern oder Texten bedruckte Papier- oder Folienbahnen stets an der gleichen vorbestimmten Stelle getrennt oder gefalzt werden müssen. Die Arbeitsgänge werden durch Registermarken gesteuert, die an den entsprechenden Stellen mitaufgedruckt sind. Sie laufen unter einem fotoelektrischen Tastkopf durch.

Bei der hier beschriebenen Einrichtung wird die Geschwindigkeit der Bahn erhöht oder abgebremst, je nachdem, ob sie zu niedrig oder zu hoch ist, um den von einem rotierenden Messer ausgeführten Schnitt an die richtige Stelle gelangen zu lassen.

Zu diesem Zweck ist mit dem Schneidmesser ein rotierender Umschalter synchron gekuppelt. Dessen Schaltarm befindet sich

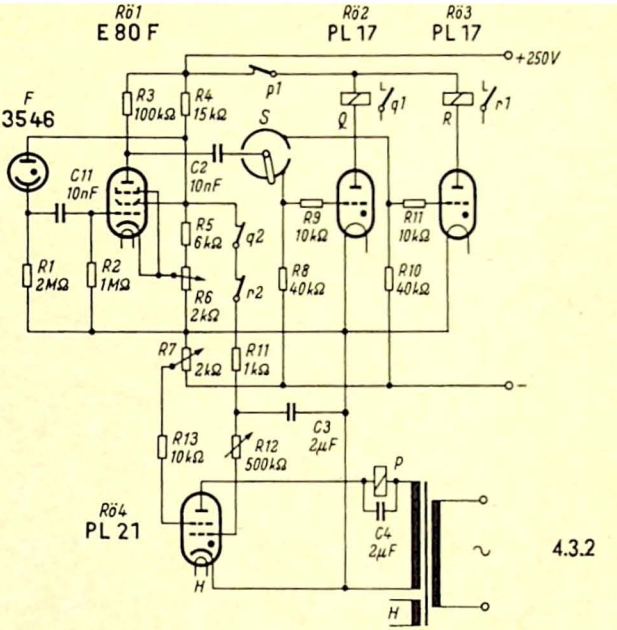
dann in einer neutralen Lage, wenn der Schnitt an der richtigen, von der aufgedruckten Marke angegebenen, Stelle liegt. Er gibt Brems- oder Beschleunigungs-Signale, wenn das Messer den Marken gegenüber nach- oder voreilt.

Die Schaltung ist so ausgelegt, daß sie auf Abdunkelung anspricht. Sind helle Marken auf dunklem Untergrund aufgedruckt, so muß die Schaltung auf Hellsteuerung umgestellt werden. Solange die Fotozelle beleuchtet ist, hält der Fotostrom den Kondensator C 1 geladen. Wird der Lichtstrahl durch die Marke kurz unterbrochen, so gibt die Ladung des Kondensators auf das Gitter der Verstärkerröhre Rö 1 einen negativen Impuls. Dieser wird verstärkt und in der Richtung umgekehrt dem Schaltarm des synchron mit dem Schneidmesser umlaufenden Schalters S zugeführt. Wenn Übereinstimmung zwischen Marke und Messer besteht, befindet sich der Schleifer des Schalters bei jedem Impuls gerade in der Stellung, in der er keine Verbindung mit einer der beiden Schleifbahnen hat. Läuft jedoch das Band zu schnell oder zu langsam, so wird der Impuls über eine der beiden Kontaktbahnen entweder an das Thyratron Rö 2 oder Rö 3 geleitet.

Ist z. B. die Vorschubgeschwindigkeit des Bandes zu hoch, so zündet das Thyratron Rö 2, wodurch das Relais Q anzieht und über den Kontakt q 1 eine Bremsvorrichtung auslöst. Entsprechend wird bei zu niedriger Geschwindigkeit, also Nacheilen der Marke gegenüber dem Messer, das Thyratron Rö 3 gezündet und durch das Relais R der Kontakt r 1 geschlossen, der in geeigneter Weise eine Beschleunigung des Bandantriebes bewirkt.

Um die Dauer der Beschleunigung oder des Abbremsens zu begrenzen, ist ein Zeitgeber vorgesehen, der den Anodenstrom des jeweils eingeschalteten Thyratrons unterbricht und es damit zum Löschen bringt. Wegen des Gleichstrombetriebes würde sonst die Entladung nach einmaliger Zündung aufrechterhalten bleiben.

Der Zeitgeber wird von dem Thyratron Rö 4 mit seinen Schaltelementen gebildet, das im Ruhezustand gezündet ist. Wenn eines der Relais Q oder R anzieht, öffnet sich der Kontakt q 2 bzw. r 2, wodurch die über den Widerstand R 11 am Kondensator C 3 liegende positive Spannung abgetrennt wird. Der Kondensator entlädt sich über den Widerstand R 12 und die leitende

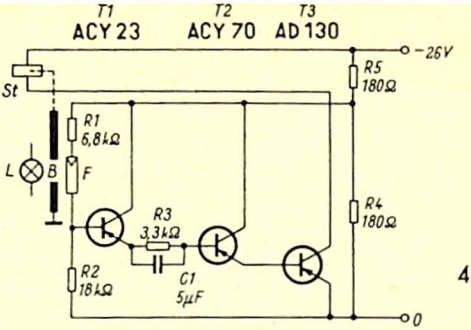


Gitter-Katoden-Strecke des gezündeten Thyratrons Rö 4. Sobald der Kondensator C 3 fast entladen ist, löscht das Thyratron, da sein zweites Gitter vom Spannungsteiler R 7 eine negative Vorspannung von 2 V hat. Der Anker des Relais P fällt ab und dessen Kontakt p 1 unterbricht den Anodenstrom der Thyratrone Rö 2 und Rö 3. Die Dauer der Kondensatorentladung und damit des Brems- bzw. Beschleunigungsvorganges kann mit dem Widerstand R 12 nach Bedarf eingestellt werden. Bremsen und Beschleunigen werden wiederholt, solange kein Gleichlauf zwischen den Registermarken und dem Messer erzielt ist.

4.3.3 *Lagesteuerung*

Die Lage eines Gegenstandes, beispielsweise eines laufenden Bandes, wird so gesteuert, daß seine Kante einen Lichtspalt stets gleich weit abdeckt.

Die zu steuernde Bandkante läuft so an einer Blende zwischen der Lichtquelle L und dem Fotowiderstand F entlang, daß sie bei



4.3.3

der richtigen Lage einen schmalen Spalt frei läßt, durch den das Licht den Fotowiderstand trifft. Eine Abweichung von dieser Sollstellung nach der einen Seite führt durch Verkleinern des Lichtspaltes zur Verringerung, eine Abweichung nach der anderen Seite zur Erhöhung der Beleuchtungsstärke am Fotowiderstand. Damit wird eine Regeleinrichtung gesteuert, durch die das Band, z. B. durch Verstellen seiner Führungsrollen, stets in die Soll-Lage geführt wird.

Bei Erhöhung der Beleuchtung infolge Erweiterung des Lichtspaltes sinkt der Widerstandswert des Fotowiderstandes F. Dadurch wird die Basis des Transistors T 1 nach negativem Potential gesteuert. Der Transistor T 1 ist mit dem Transistor T 2 über das RC-Glied R 3/C 1 gekoppelt, das die thermische Zeitkonstante der Transistoren kompensiert. Der Transistor T 2 steuert die Endstufe mit dem Leistungstransistor T 3, in dessen Kollektorkreis die Wicklung des Steuermagneten St liegt. Dieser bewegt unmittelbar oder mittelbar die Führungsrolle des Bandes, und zwar stets in solcher Richtung, daß sich ein Gleichgewichtszustand, also die richtige Lage des Bandes, einspielt.

Im Betrieb etwa auftretende Regelschwingungen können durch Ändern der Werte des RC-Gliedes R 3/C 1 beseitigt werden. Die Vorstufen-Transistoren erhalten ihre Betriebsspannung aus dem Spannungsteiler R 4/R 5. Die Leistung der Endstufe kann bis zu 12 W erreichen. Ein Überspannungsschutz für den Leistungstransistor erübrigt sich jedoch, da sich der Strom in der Magnetwicklung im allgemeinen nur langsam ändert.

4.3.4 *Zweiseitige Kantensteuerung*

Um laufende Bahnen aus Papier, Kunststoff, Blech und dergleichen beiderseits zu führen, eignen sich Steuereinrichtungen entsprechend dem folgenden Beispiel.

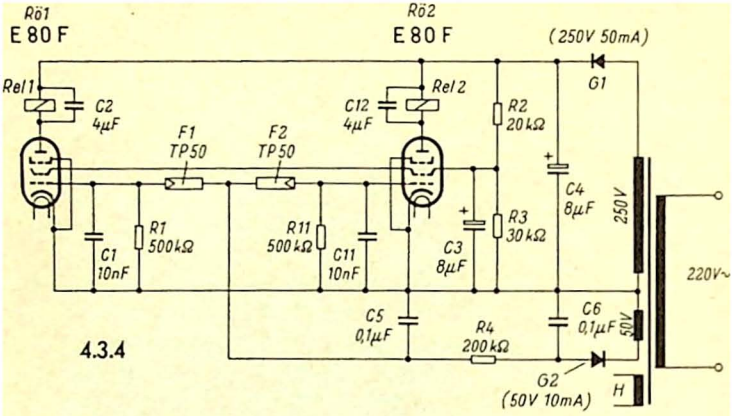
Zwei Lichtschranken mit schmalem Strahlenbündel sind so angeordnet, daß das Licht unterbrochen wird, wenn das Band, dessen Lauf gesteuert werden soll, seitlich aus der Richtung abweicht. Eine Steuereinrichtung bewirkt dann über einen Stellmotor eine entsprechende Korrektur der Führungsrollen.

Die beiden Lichtschranken mit ihren Lampen, lichtelektrischen Wandlern und Verstärkern sind völlig gleich aufgebaut. Die Fotodioden F werden mit einer negativen Vorspannung von 50 V betrieben. Solange ihr Sperrwiderstand bei Beleuchtung klein ist, haben durch Spannungsteilung mit dem Gitterwiderstand R 1 bzw. R 11 die Gitter eine negative Vorspannung von etwa 18 V, wodurch die Röhren Rö 1 und Rö 2 gesperrt sind. Bei Unterbrechung eines Lichtstrahles durch ein seitlich auswanderndes Band steigt der Sperrwiderstand der betreffenden Fotodiode so weit an, daß die Spannung am Gitter einen Wert von – 2 V überschreitet. Infolgedessen fließt Anodenstrom und das zugehörige Relais Rel zieht an. Bei beiden Lichtschranken ist der Vorgang gleich.

Die Relais steuern Schütze, die den Stellmotor einschalten und seine Drehrichtung und damit die Verschiebung der Leitwalzen bestimmen. Grundsätzlich ist es auch möglich, an den Verstärker eine Leistungsstufe anzuschließen, die Drehrichtung und Drehgeschwindigkeit des Stellmotors elektronisch steuert.

Die Gitterkondensatoren C 1 und C 11 sind verhältnismäßig groß, um die Zuleitungen der Fotodioden, die unter Umständen lang sein müssen, unempfindlich gegen Störeinstrahlungen, insbesondere gegen Netzbrummen, zu machen. Die Kondensatoren C 2 und C 12 parallel zu den Relais sind so groß bemessen, damit die Anordnung nicht schon auf kleine Kantenrauhigkeiten oder kurzzeitige Abweichungen anspricht. Die Schaltverzögerung beträgt bei der angegebenen Dimensionierung 0,15 Sekunden; dazu kommt noch die Ansprechzeit der Stellvorrichtung.

Beide Steuergeräte erhalten ihre Betriebsspannungen aus einem gemeinsamen Netzgerät. Die Schirmgitterspannung wird



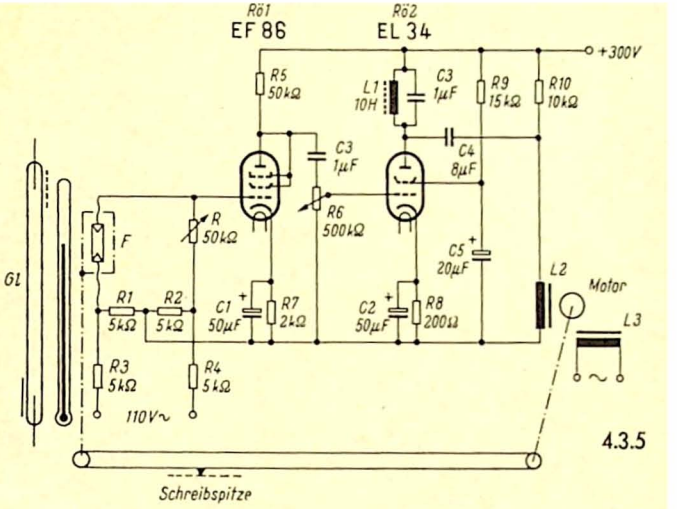
am Spannungsteiler R 4/R 3 abgenommen. Die Vorspannung der Fotodioden erzeugt der Gleichrichter G 2 aus einer besonderen Transformatorwicklung.

4.3.5 *Schreiber mit Nachlaufsteuerung*

Als Beispiel, wie eine fotoelektrische Nachlaufsteuerung ausgeführt werden kann, ist hier ein servogetriebenes Schreibgerät für ein Thermometer oder Manometer gezeigt.

Der Fotowiderstand F liegt in einer mit Wechselspannung betriebenen Phasenbrücke, zu der die Widerstände R 1, R 2 und R gehören. Das Lichtwandlerelement ist in einem lichtdichten Gehäuse untergebracht, das nur eine schmale Öffnung hat und hinter der Thermometersäule auf- und abbewegbar ist. Auf der anderen Seite des Thermometerrohres erstreckt sich auf dessen ganze Länge eine Röhrenleuchte. Durch die Quecksilbersäule wird das Licht des unteren Teiles der Leuchte abgedeckt. Der Übergang befindet sich an der Kuppe der Säule. Bei Thermometern mit durchsichtiger Flüssigkeit wirkt die Säule als Zylinderlinse, wobei die größte Lichtkonzentration an der Flüssigkeitskuppe auftritt.

Das Gerät ist so aufgebaut und geschaltet, daß durch einen Motorantrieb der Fotowiderstand stets an das Ende der Thermometersäule geführt wird. Mit diesem Antrieb ist starr ein Schreib-



stift verbunden, der die Bewegungen des Fotowiderstandes, also den Verlauf der Temperatur, aufzeichnet.

Mit Hilfe des Widerstandes R wird das Gleichgewicht der Phasenbrücke für den Grenzbereich der Beleuchtung eingestellt, also für die Stellung, bei der der Fotowiderstand auf Höhe der Kuppe der Thermometersäule steht. Änderungen der Helligkeit durch Steigen oder Sinken der Säule stören das Brückengleichgewicht und erzeugen am Gitter der Röhre Rö 1 eine Wechselspannung, deren Phase durch die Änderungsrichtung bestimmt ist. Diese Wechselspannung wird in zwei Stufen mit den Röhren Rö 1 und Rö 2 verstärkt. Der auf die Netzfrequenz abgestimmte Anodenkreis L 1/C 3 ergibt hohe Verstärkung und unterdrückt Harmonische.

Die verstärkte Wechselspannung steuert entsprechend ihrer Phasenlage durch die Wicklung L 2 die Drehrichtung des Servomotors, und zwar stets so, daß der Fotowiderstand der Kuppe der Thermosäule nachgeführt wird. Der Schreibstift macht alle Bewegungen mit und zeichnet den Verlauf der Temperatur auf.

Nach dem gleichen Prinzip können auch Regeleinrichtungen fotoelektrisch gesteuert werden.

5 Verschiedene Schaltungen

5.1 Rufanlage, Widerstandstransformation u. a.

5.1.1 Rufanlage

Bei Rufanlagen in Hotels, Krankenhäusern und dergleichen wird gewöhnlich durch Knopfdruck im Zimmer ein akustisches Signal in der Zentrale ausgelöst, das nur solange ertönt, wie der Knopfdruck andauert. Zugleich wird aber ein optisches Zeichen erregt, das solange erhalten bleibt, bis es in der Zentrale gelöscht wird. Dazu werden elektromechanische Fallklappen oder Relais mit Selbsthaltekontakten verwendet.

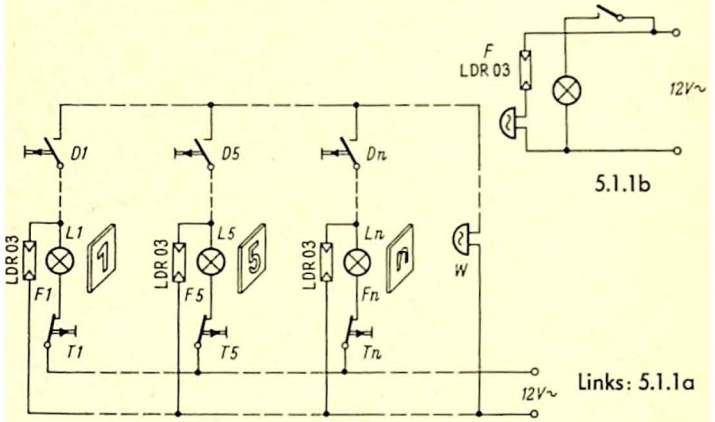
Mit Hilfe von Fotowiderständen kann die gleiche Aufgabe in überraschend einfacher Weise elektronisch gelöst werden. Die Schaltung 5.1.1a zeigt einen Ausschnitt aus einer solchen Rufanlage, die beliebig erweitert werden kann. In den Zimmern befinden sich die Drucktasten D 1...D 5...Dn, in der Zentrale der Wecker W und die den einzelnen Zimmern zugeordneten Signallampen L 1...L 5...Ln, die jeweils lichtdicht mit einem Fotowiderstand F 1...F 5...Fn zu einer Gruppe vereinigt sind, dazu in jeder Leitung eine Löschtaste T 1...T 5...Tn. Beim Betätigen einer der Drucktasten D leuchtet in der Zentrale die zugehörige Glühlampe mit der Zimmernummer auf. Zugleich ertönt der Wecker.

Durch die Beleuchtung mit der Lampe L 1 wird der Widerstandswert des zugehörigen Fotowiderstandes F 1 so weit erniedrigt, daß die Glühlampe L 1 auch dann weiterbrennt, wenn die Drucktaste D 1 losgelassen wurde. Der Stromkreis des Weckers dagegen wird unterbrochen. Das akustische Signal hört auf, das optische bleibt bestehen.

Durch Betätigen der Rückstelltaste T 1 wird der selbsthaltende Stromkreis Glühlampe – Fotowiderstand kurz unterbrochen, so daß die Lampe erlischt und der Fotowiderstand seinen hohen Wert wieder annimmt. Beim Schließen des Kontaktes der Rückstelltaste T 1 ist der Ausgangszustand wieder hergestellt. Die Anordnung entspricht in ihrer Wirkung also vollständig der der bekannten Rufanlagen.

Da aus Gründen des Stromverbrauchs und der Erwärmung Lampen kleiner Leistung verwendet werden, kann die Leistung des mit ihnen in Reihe liegenden Weckers auch nur gering sein.

Wenn sie nicht ausreicht, um die erforderliche Lautstärke zu erzeugen, so muß ein Relais zwischengeschaltet werden. Auch dieses kann fotoelektronisch arbeiten, wie es Bild 5.1.1b zeigt. An die Stelle des Weckers bzw. eines elektromechanischen Relais tritt eine Glühlampe, deren Licht auf einen Fotowider-

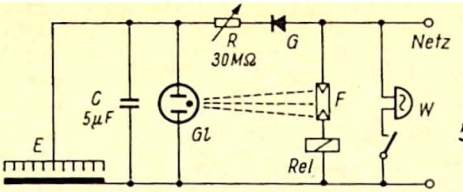


stand fällt, der dem Wecker vorgeschaltet ist. Naturgemäß ist auch die Schaltleistung dieses elektronischen Relais durch die zulässige Verlustleistung des Fotowiderstandes begrenzt. Ferner ist wichtig, daß die Temperatur der Fotowiderstände unterhalb der zulässigen Grenze bleibt, auch dann, wenn die Lampen längere Zeit brennen.

5.1.2 Widerstandstransformation mit Fotowiderstand

Als Beispiel, wie mit Hilfe eines fotoelektrischen Wandlers ein sehr hochohmiger Kreis an einen niederohmigen angepaßt werden kann, ist ein Gerät dargestellt, das den Trockenvorgang in einer Trockenanlage überwacht.

Eine kammartige Elektrode E ragt in das zu trocknende Gut hinein. Solange dieses feucht ist, schließt es die Elektrode gegenüber der Masse der Trommel und damit den Kondensator C kurz. Sobald ein Trocknungsgrad erreicht ist, der einen merklichen elektrischen Widerstand zur Folge hat, lädt sich der Kondensator C über den Gleichrichter G und den Widerstand R auf.



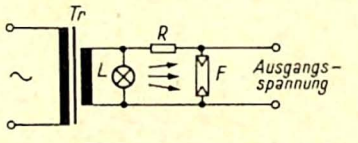
5.1.2

Wenn die Zündspannung der Glimmlampe Gl erreicht ist, leuchtet diese auf. Ihr Licht trifft den Fotowiderstand F, dessen Widerstandswert so verringert wird, daß das Relais anzieht und der Wecker ertönt. Über einen Ruhekontakt kann selbstverständlich auch die Trockenanlage gleichzeitig stillgesetzt werden.

5.1.3 Stabilisierung einer Wechselspannung

Mit der dargestellten Schaltungsanordnung kann eine Wechselspannung auf einfache Weise stabilisiert werden.

Die Sekundärseite des Transformators Tr speist eine Glühlampe L, deren Licht auf den Fotowiderstand F fällt. Dieser bildet mit dem Widerstand R einen Spannungsteiler. Steigt die Spannung an der Lampe infolge Erhöhung der Netzspannung, so nimmt die Helligkeit und damit die Beleuchtung des Fotowiderstandes F zu. Dessen Widerstandswert verringert sich und verschiebt das Spannungsteilerverhältnis. Bei geringerer Spannung



5.1.3

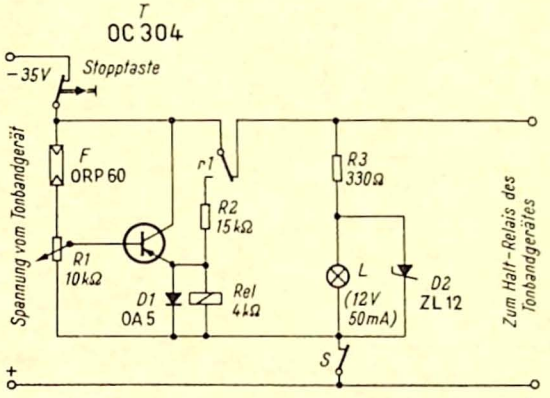
an der Lampe ändert sich die Spannungsteilung in entgegengesetzter Richtung. Dieser Regelvorgang führt zu einer praktisch konstanten Ausgangsspannung.

Der Regelfaktor ist etwa 80, d. h. daß Änderungen der Eingangsspannung um 40 % nur Abweichungen von 0,5 % bei der Ausgangsspannung zur Folge haben. Allerdings darf der Ausgang der Schaltung nicht belastet werden, damit die Regelwirkung nicht gemindert wird. Als Bezugsspannungsquelle für Kompensationsmessungen, als Vergleichsspannung bei Oszillografen und für ähnliche Zwecke kann diese einfache Anordnung jedoch gut verwendet werden.

5.2 Tonbandgeräte-Hilfseinrichtung

5.2.1 Stoppeinrichtung

Um bestimmte Stellen auf Tonbändern aufzufinden, werden diese mit einer hellen Marke gekennzeichnet, z. B. durch ein Stück Klebeband oder durch Färben mit einem Fettstift. Beim Abtasten mit einem reflektierten Lichtstrahl wird ein Signal erzeugt, das das Gerät stillsetzt.



5.2.1

Die beschriebene Einrichtung wird als Zusatzgerät zwischen die Stopp-Taste und das Halt-Relais des Tonbandgerätes geschaltet und aus dessen Netzteil gespeist. Die Lampe L und der Fotowiderstand F sind in einem Reflexkopf untergebracht, der so auf das Tonband gerichtet ist, daß eine zur Markierung angebrachte helle Stelle auf der Rückseite des Bandes den Fotowiderstand belichtet.

Die Ansprechempfindlichkeit wird durch Wahl des Arbeitspunktes des Transistors T mit dem Widerstand R 1 eingestellt, und zwar durch Versuch so, daß das Relais Rel nicht bei Reflexion des Lichtstrahles am Tonband, sondern erst bei einer hellen Marke anspricht. Dann öffnet der Umschaltkontakt r 1 des Relais die Verbindung zum Halt-Relais des Tonbandgerätes und setzt den Bandtransport still. Zugleich wird die Glühlampe L ausgeschaltet. Der Arbeitskontakt von r 1 legt das Relais über den Widerstand R 2 an Spannung, so daß dieses sich selbst hält.

Beim Drücken der Stopp-Taste des Tonbandgerätes wird die gesamte Schaltung spannungslos, das Relais Rel fällt ab, der Kontakt r 1 geht in die Ruhestellung. Durch Loslassen der Taste wird der Ausgangszustand wieder hergestellt, das Band läuft weiter, und die Stoppeinrichtung ist erneut in Bereitschaft.

Die Glühlampe soll so schwach wie möglich bemessen werden, um die Erwärmung des Fotowiderstandes gering zu halten. Da die Helligkeitsunterschiede zwischen dem Band und den Marken nur gering sein können, ist die Spannung der Lampe durch die parallelgeschaltete Zenerdiode D 2 stabilisiert, um zu verhindern, daß Helligkeitsschwankungen der Lichtquelle zum Ansprechen des Gerätes führen.

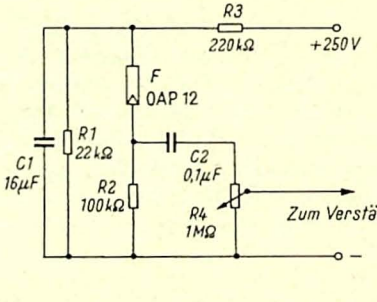
Die Diode D 1 dient dem Schutze des Transistors gegen Spannungsspitzen, die der Schaltvorgang an der Induktivität der Relaiswicklung erzeugt. Mit dem Schalter S kann das Zusatzgerät ein- und ausgeschaltet werden.

5.3 Tonfilmgeräte

5.3.1 Lichtton-Abtaster

Dieser einfache Abtastkopf ermöglicht die Wiedergabe von Lichttonfilmen mit Hilfe des Nf-Verstärkers eines Rundfunk-Empfängers.

Die Betriebsspannung wird dem Gerät entnommen und mit dem Spannungsteiler R 3/R 1 auf etwa 22 V herabgesetzt. Das von der Tonspur des Films modulierte Licht steuert die Fotodiode F. Die erzeugte Tonfrequenzspannung wird den Tonab-



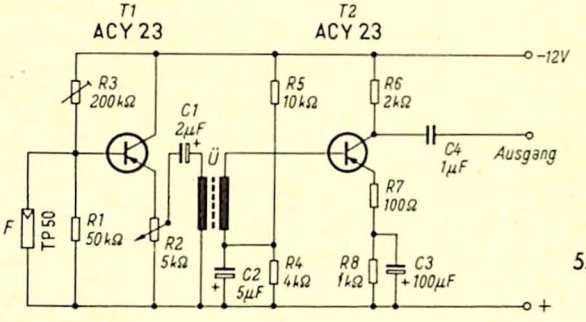
5.3.1

nehmeranschlüssen des Empfängers zugeführt. Der Einstellwiderstand R 4 kann unter Umständen entfallen.

5.3.2 Tonfilm-Vorverstärker

Dieser Vorverstärker eignet sich für die Lichttonabtastung bei Schmalfilm-Projektoren und zur Steuerung von Leistungsverstärkern.

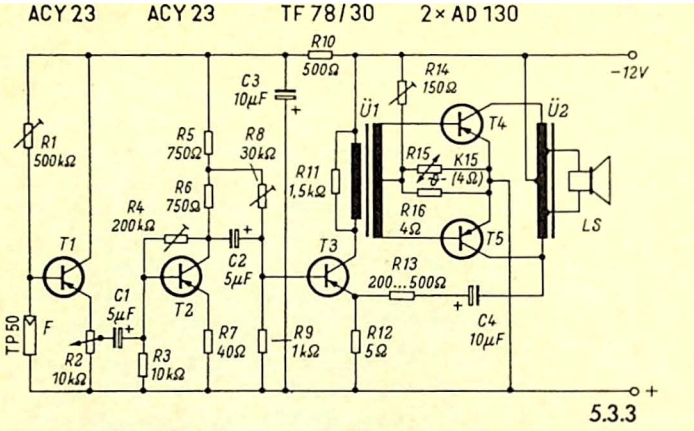
Die Tonlampe wird bei derartigen Geräten gewöhnlich mit einer gut geglätteten Gleichspannung von 12 V betrieben. Diese kann vorteilhaft – nötigenfalls nach weiterer Siebung – auch den transistorisierten Verstärker speisen. Sein Stromverbrauch ist so gering, daß die Leistung ohne weiteres von der Stromquelle der Lampe aufgebracht werden kann.



5.3.2

Die hier verwendete Fotodiode F ist so geschaltet, daß sie den Temperaturgang des in Kollektorschaltung arbeitenden Transistors T 1 weitgehend kompensiert. Der Eingangswiderstand des Transistors ist in dieser Schaltung so hoch, daß auch bei dem hohen Quellenwiderstand der Fotodiode eine Steuerspannung von 0,3 V erreicht wird. Die Übertragerkopplung zwischen den beiden Verstärkerstufen verhindert Verzerrungen durch große Gleichspannungsänderungen am Transistor T 2 und schafft zugleich eine gute Anpassung.

Am Ausgang des Verstärkers stehen an einem Außenwiderstand von 10 kΩ oder mehr bis zu 2 V zur Steuerung der Leistungsstufe zur Verfügung. Die obere Frequenzgrenze des Vorverstärkers liegt bei 15 kHz. Der Klirrfaktor ist kleiner als 1 %.



5.3.3 Tonfilmverstärker mit 12 W Ausgangsleistung

Dieser Verstärker ist zur Wiedergabe aller Arten von Tonfilmen verwendbar. Er liefert eine Ausgangsleistung, die ausreicht, um mittelgroße Säle zu beschallen.

Die Eingangsschaltung entspricht 5.3.2, doch sind die zwei nachfolgenden Stufen kapazitiv angekoppelt. In der transformatorisch gekoppelten Endstufe arbeiten zwei Leistungstransistoren im Gegentakt. Der Widerstand mit negativem Temperaturkoeffizienten (NTC-Widerstand, Heißleiter) R 15 kompensiert zusammen mit dem Parallelwiderstand R 16 den Temperaturgang der Endstufe. Der Ausgangsübertrager ist als Spartransformator ausgebildet, wobei die einzelnen Wicklungsteile ineinandergewickelt sind.

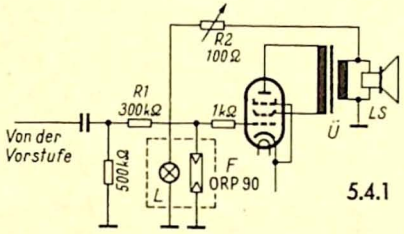
Der Verstärker liefert bei voller Aussteuerung eine Ausgangsleistung von 12 W. Sein Frequenzbereich geht von 50 bis 15 000 Hz.

5.4 Steuerungen an Rundfunkempfängern

5.4.1 Dynamik-Regelung

Eine Dynamik-Kompression drückt den Lautstärkeumfang einer Tonwiedergabe zusammen, eine Dynamik-Expansion er-

weitert ihn. Bild 5.4.1 zeigt eine Schaltung, die eine Glühlampe in Verbindung mit einem Fotowiderstand zur Kompressionssteuerung verwendet. Die Regelzeitkonstante wird hauptsächlich durch die thermische Trägheit der Glühlampe bestimmt. Die Eigenschaft von Glühlampen, erst nach Überschreiten eines Schwellwertes des Stromes Licht abzustrahlen, ergibt ohne besondere Maßnahmen eine verzögerte Regelung.



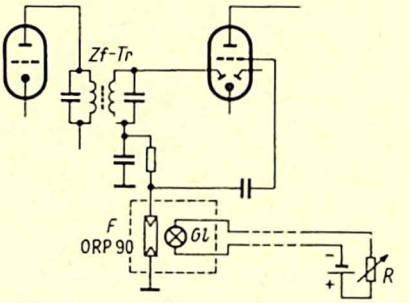
5.4.1

Der Fotowiderstand F bildet zusammen mit dem Widerstand R 1 einen Spannungsteiler für die Steuerspannung der Verstärker-Endröhre. Im unbeleuchteten Zustand hat F einen Widerstand in der Größenordnung von einigen Megohm, so daß die Tonfrequenzspannung ungeteilt an das Steuergitter gelangt. Bei Beleuchtung verringert sich der Wert des Fotowiderstandes auf wenige hundert Ohm, und die Steuerspannung sinkt entsprechend dem Spannungsteilerverhältnis. Der Fotowiderstand ist zusammen mit dem Glühlämpchen L in einem lichtdichten Gehäuse untergebracht. Das Lämpchen wird von der Sekundärwicklung des Ausgangsübertragers Ü gespeist. Mit dem Widerstand R 2 kann der Grad der Kompression und ihr Einsatz eingestellt werden. Die Daten des Lämpchens richten sich nach der Ausgangsleistung und dem Anpassungswiderstand des Ausgangsübertragers.

Eine Dynamik-Expansion ist möglich, wenn die Spannungsteilerwirkung umgekehrt wird. Dazu sind F und R 1 zu tauschen und der Fotowiderstand mit einem Parallelwiderstand von etwa 1 MΩ zu überbrücken, da sein Widerstandswert im unbeleuchteten Zustand zu hoch ist.

5.4.2 *Fernbedienung einer Lautstärkeeinstellung*

Diese Schaltung gibt ein Beispiel dafür, wie mit Hilfe einer Glühlampe und eines Fotowiderstandes in einfacher Weise ein hochohmiger Kreis durch einen niederohmigen gesteuert werden kann. Steuerkreis und Arbeitskreis sind elektrisch vollständig voneinander getrennt und nur durch den Lichtstrahl miteinander



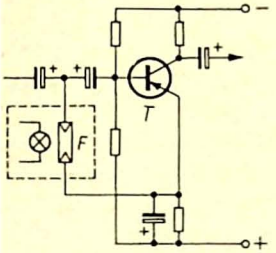
5.4.2

gekoppelt. Die Anwendung dieses Prinzips zum Ferneinstellen der Lautstärke hat den Vorteil, daß die Leitung völlig brummunempfindlich ist, daß sich das Steuerglied leicht nachträglich einbauen läßt und daß die normale Betriebsart ohne weiteres möglich bleibt.

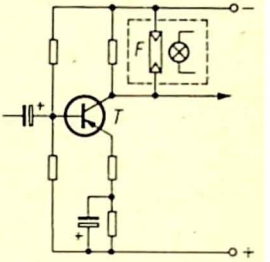
Der Diodenwiderstand in einem Rundfunkempfänger wird im Schaltbeispiel durch den Fotowiderstand F gebildet. Sein Widerstandswert und damit die Lautstärke ist von der Stärke der Beleuchtung mit der Glühlampe Gl abhängig. Fotowiderstand und Lampe sind in einem lichtdichten Kästchen zusammengefaßt. Die Helligkeit der Glühlampe wird über die Fernbedienungsleitung mit dem Widerstand R eingestellt. Da der Steuerkreis nur Niederspannung führt, ist kein besonderer Aufwand für die Isolation der Leitung nötig. Anstatt aus einer Batterie kann die Lampe aus der Heizspannung des Empfängers gespeist werden, doch muß auch bei Verwendung von Lampen mit hoher Trägheit des Fadens die Betriebsspannung gleichgerichtet sein, damit keine Brummspannung am Fotowiderstand erzeugt wird.

5.4.3.1 und .2 Lautstärkesteuerung bei Transistorverstärkern

Die Schaltbilder 5.4.3.1 und .2 zeigen Beispiele, wie die Lautstärke bei Transistorverstärkern auf fotoelektrischem Wege eingestellt oder geregelt werden kann. Die Werte der Schaltelemente richten sich nach der Schaltung des Verstärkers. Der Lampenkreis ist jeweils nach Bild 5.4.2 zu ergänzen.



5.4.3.1



5.4.3.2

Quellenhinweise

Die nachstehend genannten Schaltungen gehen auf Unterlagen der folgenden Firmen zurück:

Cerberus AG, Werk für Elektronentechnik, Männedorf/Schweiz:
1.4.4; 1.6.3; 2.4.2, .3, .4, .5, .10

Elesta AG, Bad Ragaz/Schweiz:
1.6.1, .2; 2.4.6, .7, .8, .9; 2.6.5.2; 4.1.1, .2, .3

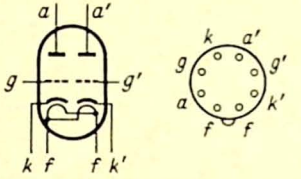
Intermetall, Gesellschaft für Metallurgie und Elektronik mbH, Freiburg im Breisgau:
2.6.4

Siemens & Halske AG, München:
1.6.6; 2.5.3, .4, .5, .6, .7; 2.6.2, .3; 2.7.2, .4; 3.4.2; 3.5.3; 4.2.2; 5.3.2, .3

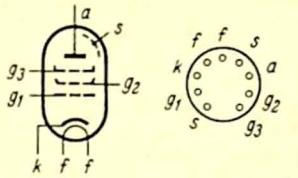
Telefunken AG, Ulm/Donau:
1.6.5; 2.5.1; 3.1.2; 3.2.4

Valvo GmbH, Hamburg:
1.2.2, .3, .4; 1.3.1, .2, .3; 1.4.1; 1.5.1, .2, .3; 1.7.1; 2.1.1, .2, .3, .4, .5; 2.2.1, .2, .3, 2.3.2, .3, .6; 2.4.1; 2.5.2; 2.6.1, .5.1; 2.7.1, .3; 3.4.1; 3.5.1; 4.1.4; 4.2.1; 4.3.1, .2

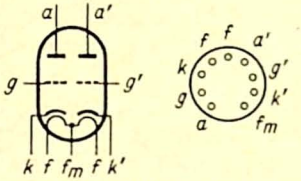
Braun AG, Frankfurt:
2.8.3



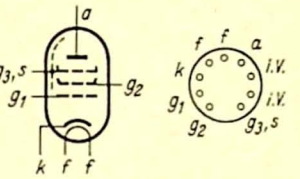
ECC 40 = 6N7



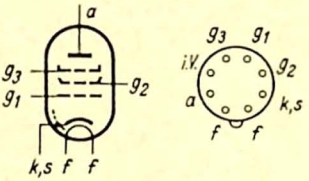
E 80L, E 81L (6227)



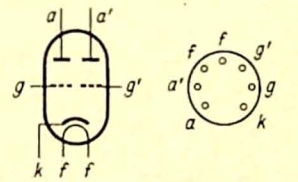
ECC 81, E 80CC (6085)
= 12 AT 7



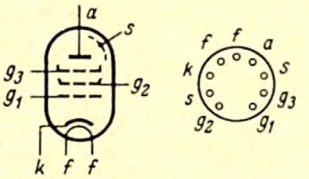
E 83F (6689)



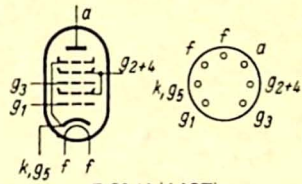
EF 40



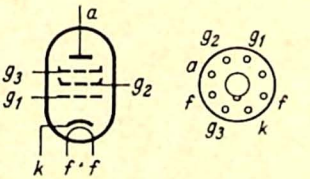
E 90CC (5920)



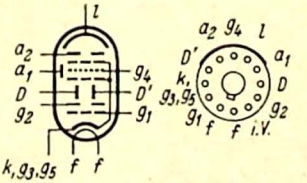
EF 86, E 80F (6084)



E 91 H (6687)
= EH 900 S (EH 90)

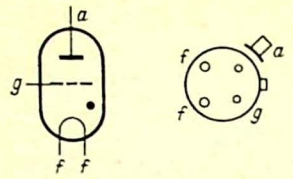


EL 34

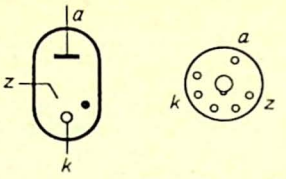


E 1T

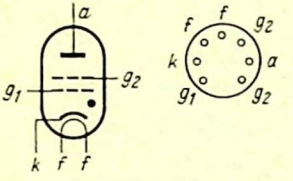
Thyratrone



PL 17 (5557)

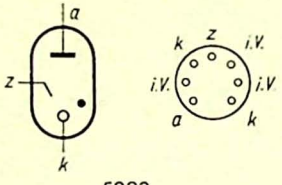


PL 1267 (OA 4 G)

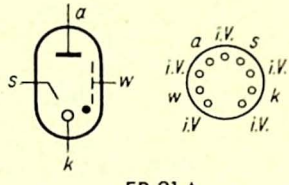


PL 21 (2 D 21)

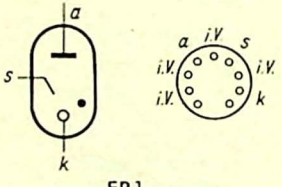
Kaltkatoden-Röhren



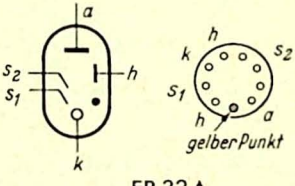
5823



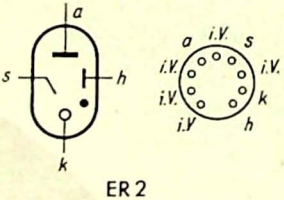
ER 21 A



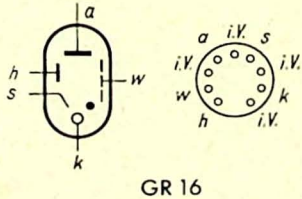
ER 1



ER 32 A

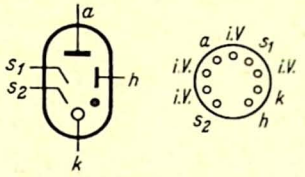


ER 2

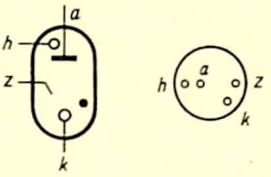


GR 16

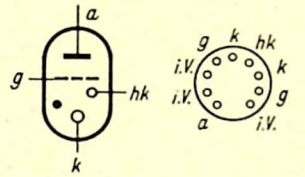
Kaltkatoden-Röhren (Fortsetzung)



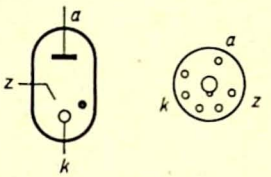
GR 20



Z 70 U



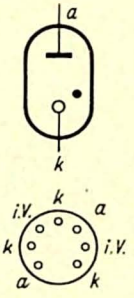
GT 21



PL 1267 (O A 4 G)

Glimm-Stabilisatoren

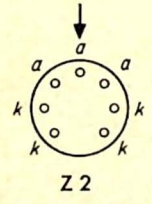
Valvo	Telefunken	AEG	Cerberus	USA
85 A 2	STV 85/10	AG 5209	SR 53	OG 3
108 C 1	STV 108/30	AG 5210	SR 55	OB 2
150 C 2	STV 150/30	AG 5211	SR 56	OA 2



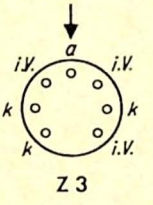
Fotozellen

	G = Gas, V = Vakuum	Spektral-Empfindlichkeits-Bereich	Empfindlichkeit µA/lm	max. Katodenstrom µA	Betriebsspannung V	Katodenfläche cm²	Sockelschaltung
58 CG	G	rt, IR	108	1,5	90	1,1	[1]
58 CV	V	rt, IR	20	3,3	50	1,1	[1]
90 AG = FZ 9011 G	G	bl	130	2,5	85	4	Z 2
90 AV = FZ 9011 V	V	bl	45	5	85	4	Z 2
90 CG = FZ 9012 G	G	rt, IR	125	1,7	85	2,4	Z 3
90 CV = FZ 9012 V	V	rt, IR	20	7	50	2,4	Z 3
92 AG	G	bl	130	2,6	85	2,1	Z 2
92 AV	V	bl	45	5	85	2,1	Z 2
3545	V	rt, IR	25	4,5	90	0,9	Z 4
3546	G	rt, IR	150	1,8	90	0,9	Z 4
3554	G	rt, IR	150	10	90	5,2	Z 5
155 UG	G	UV		6 mA			Z 6

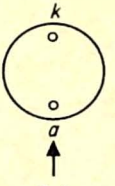
[1]) Drahtanschlüsse: Anode rot, Katode schwarz



Z 2

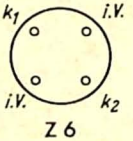


Z 3



Z 4

Z 5

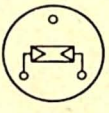


Z 6

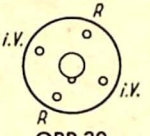
Fotowiderstände

Typ	Fläche mm²	max. Verlust-leistung mW	Hell-Widerstand (100 Lx)	Dunkel-widerstand	
EP 1 A	1,5	60	30...100 kΩ	> 10 MΩ	
LDR 03	40	200	1 kΩ	> 10 MΩ	
LDR 05	40	200	1 kΩ	> 10 MΩ	
ORP 10	3	(100 mA)	55 Ω	100 Ω	[1]
ORP 11	125	200	1 kΩ	> 20 MΩ	[2]
ORP 30	450	1200	220 Ω	> 60 MΩ	[2]
ORP 50	50	400	1,2 kΩ	> 8 MΩ	
ORP 60	0,25	70	30 kΩ	> 200 MΩ	
ORP 61	0,25	70	30 kΩ	> 200 MΩ	
ORP 62	1,5	100	28 kΩ	> 150 MΩ	
ORP 63	15	150	750 Ω	> 7,5 MΩ	
ORP 90	180	1000	650 Ω	> 120 MΩ	[2]
RPY 10	0,8	100	4,8 kΩ	> 20 MΩ	
RPY 11	100	250	1 kΩ	> 5 MΩ	
RPY 12	300	1000	330 Ω	> 5 MΩ	[2]
RPY 14	50	225	450 Ω	> 3 MΩ	
RPY 17	50	225	2 kΩ	> 25 MΩ	
RPY 18	150	500	200 Ω	> 2 MΩ	
RPY 19	150	500	2 kΩ	> 12 MΩ	
RPY 20	300	1000	850 Ω	> 120 MΩ	
RPY 22	300	5000	400 Ω	> 6 MΩ	
RPY 25	75	200	7 kΩ	> 10 MΩ	
61 SV	38	(5 mA)		1...4 MΩ	[1]

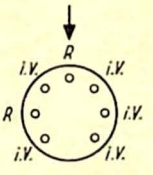
[1] Infrarotempfindlich.
[2] Siehe untenstehende Sockelschaltungen. Die übrigen Fotowiderstände haben Drahtanschlüsse.



ORP 11



ORP 30



ORP 90
RPY 12

Fotodioden

	Empfindlichkeit 10^{-5} mA/Lx	Verlustleistung max. mW	Betr.-Spannung max. V
APY 10 I	6	40	50
APY 10 II	10		
APY 11 I	6	40	25
APY 11 II	10		
OAP 12	5	30	30
TP 50 0	4		
TP 50 I	5	50	100
TP 50 II	6,5		
TP 51 0	4		
TP 51 I	5	50	30
TP 51 II	6,5		
TP 55	4	30	50
TP 56	4	30	30
TP 57	4	30	15

Fotoelemente

	Leerlaufspannung (V) bei 100 Lx	Empfindlichkeit 10^{-5} mA/Lx
BPY 10	0,4	1
BPY 11	0,2	4
BPY 43	0,13	1,5
BPY 44	0,20	2
BPY 45	0,10	100
BP 100	0,15	3,5
TP 60	0,1	100
TP 61	0,1	100

Sachregister

Abfallverzögerung, Lichtrelais mit A. 53, 75
Alarmgeräte 102, 103
Ansprech-Intervall 51
Auswahlgerät 19

Beleuchtungsmesser 13, 14
Beleuchtungsregelung 35
Beleuchtungsüberwachung 32
Blitzauslöser 99, 100, 101

Dämmerungsschalter 37, 38, 39, 41, 42, 44, 45
Drehzahlzeiger 121
Dynamik-Regelung 148

Fernbedienung 150
Flammenwächter 27, 28, 29, 30, 31
Flipflop-Schaltungen 90, 91
Folgerelais 52
Fotoarbeiten, Lichtmengenschaltgerät für F. 46
Frequenzmesser 123

Generatoren, lichtgesteuerte 104
Geschwindigkeits-Prüfgerät 118
Geschwindigkeits-Regelung 135
Gleichstrom-Steuerung 61
Grenzwertschalter 16

Helligkeitsänderungen 131
Helligkeitsschwankungen 15
Helligkeitsunterschiede 15, 16, 18

Impedanzwandler 56
Intervallschaltung 51, 66, 67, 69, 70, 71, 72, 73, 76

Kaltkatoden-Röhren 30, 65 ff.
Kamera-Verschlußzeiten 116
Kantensteuerung 139
Kippschaltungen 41, 85...91, 113
Koinzidenzschaltung 125
Kupplungs-Steuerung 133

Lagesteuerung 137
Längentoleranz-Messung 128
Lautstärke-Einstellung 150, 151
Lichtmengenschalter 46
Lichtquelle, Stabilisierung 33
Lichtrelais 49 ff.

Multivibrator 106

Nachlaufsteuerung 140

Pulsbetrieb, Relais für P. 93

Rauchdichtemelder 25
Rauchmelder 24
Resonanzverstärker 98
Richtungsabhängige Steuerung 132
Richtungszähler 114
Rufanlage 142

Schlupffrequenz-Messung 117
Sortiergerät 127
Stabilisierung einer Lichtquelle 33
Stabilisierung einer Wechselspannung 144
Steuerung, richtungsabhängige 132
Stopeinrichtung 145

Temperaturkompensation 14, 77, 78
Thermorelais 38
Thyratron-Verstärker 29, 57...63
Tonbandgeräte, Stopeinrichtung 145
Tonfilm-Verstärker 146, 147, 148
Tongenerator 104
Transistor-Verstärker 77 ff.

Trigger 87, 88, 89
Trübungsanzeiger 22
Türöffner 107, 109

Verschlußzeiten-Messung 116
Verzögerung 45, 75
Vielstellen-Überwachung 124

Wechselspannungs-Stabilisierung 144
Wechselstrom-Verstärker 92

Zähler 111, 113, 114
Zerhacker, elektronischer 96

Fortsetzung von der zweiten Umschlagseite

74 **Einkreis-Empfänger** mit Röhren und Transistoren (H. Sutaner). 6. Auflage, 68 Seiten, 71 Bilder, 3 Tabellen. ✶

76 **Bastelpraxis** Band II. Theoretische und praktische Grundlagen (Werner W. Diefenbach). 7. Aufl. 76 Seiten, 93 Bilder, 11 Tabellen.

77/77a **Der Selbstbau von Meßeinrichtungen für die Funkwerkstatt** (Ernst Nieder). 5. Aufl., 120 Seiten, 94 Bilder, 2 Tab.

79/79a **Bastelpraxis** Band III. Praktischer Aufbau von einfachen Prüfgeräten und Empfängern vom Detektor bis zum Super, dazu Verstärker, KW- und Zusatzgeräte (Werner W. Diefenbach). 7. Auflage, 144 Seiten, 149 Bilder.

80/80b **Das Spulenbuch — Hochfrequenzspulen** (Hans Sutaner). 5. Aufl., 192 Seiten, 109 Bilder und Schaltungen, 16 Tabellen, 15 Nomogramme.

81/83 **Die elektrischen Grundlagen der Radiotechnik** (Kurt Leucht). 9. Aufl., 272 Seiten, 169 Bilder, viele Tabellen, 1 Lösungsheft.

84 **Fernsehantennen-Praxis** (Herbert G. Mende). 10. Aufl., 68 Seiten, 43 Bilder, 6 Tabellen.

85 **Hi-Fi-Schaltungs- und Baubuch** (Fritz Kühne). 7. Aufl., 64 Seiten, 33 Bilder, 3 Tabellen. ✶

86/87 **Berufskunde für Radio- und Fernsehtechniker und verwandte Berufe.** Vom Lehrling zum Meister (Dipl.-Ing. Georg Rose). 3. Aufl., 144 Seiten, 2 Tafeln.

88 **Schliche und Kniffe für Radiopraktiker** Teil II (Fritz Kühne). 5. Aufl., 64 Seiten, 57 Bilder.

89/90a **Autoempfänger.** Einbau, Antennen u. Funkentstörung (Eckhard-Heinz Manzke). 2. Auflage, 192 Seiten, 149 Bilder, 16 Tabellen.

93/94 **Transistorschaltungen für die Modellfernsteuerung** (H. Bruß). 5. Aufl., 128 Seiten, 102 Bilder, 8 Tab.

95/96 **Fotozellen und ihre Anwendung** (L. Beitz und H. Hesselbach). 3. Aufl., 128 Seiten, 103 Bilder, 6 Tabellen.

97/98 **Kleines Stereo-Praktikum** (Ing. Fritz Kühne u. Karl Tetzner). 4. Aufl., 136 Seiten, 100 Bilder. ✶

99 **Wie arbeite ich mit dem Elektronenstrahl-Oszillografen?** (H. Sutaner). 5. Aufl., 64 Seiten, 87 Bilder.

100 **Daten- und Tabellensammlung für Radiopraktiker** (H. G. Mende). 2. Aufl., 96 Seiten, 40 Bilder, 50 Tabellen.

101/102 **Elektronische Orgeln und ihr Selbstbau** (Dr. Rainer H. Böhm). 3. Aufl., 132 Seiten, 53 Bilder.

103 **Die Wobbelsender.** Aufgaben und Schaltungstechnik (H. Sutaner). 3. Aufl., 64 Seiten, 40 Bilder.

✶ In Vorbereitung.

104 **Transistorsender für die Fernsteuerung** (H. Bruß). 3. Aufl., 68 Seiten, 51 Bilder, 4 Tafeln, 2 Nomogramme.

105/105a **Lautsprecher u. Lautsprechergehäuse für HiFi** (Dipl.-Ing. H. H. Klinger). 4. Aufl., 124 Seiten, 112 Bilder, 5 Tab.

106/107 **Netztransformatoren und Drosseln.** Berechnung und Bau (Dr.-Ing. Paul E. Klein). 2. Aufl., 128 Seiten, 55 Bilder, 56 Tabellen.

108 **Amateurfunk-Superhets.** Planung und Selbstbau (G. E. Gerzelka). 64 Seiten, 13 Bilder, 8 Tabellen.

109/110 **Transistor-Amateurfunkgeräte für das 2-m-Band.** Schaltungstechnik und praktischer Aufbau (J. Reithofer). 2. Aufl., 120 Seiten, 108 Bilder.

111/112 **Meßinstrumente und ihre Anwendung.** Kleine Meßkunde für Radio- u. Fernseh-Praktiker (W. M. Köhler). 2. Aufl., 128 S., 116 Bilder, 3 Tab.

113 **Elektronische Experimente** (G. Büscher). 2. Aufl., 68 S., 86 Bild., 2 Tab.

114 **Halbleiter-Experimente** (Dipl.-Phys. J. Kleemann). 2. Aufl., 64 Seiten, 52 Bilder, 20 Tabellen.

115/116 **Elektronische Schaltungen mit Fotozellen** (Wilhelm Hennig). 2. Aufl., 160 Seiten, 112 Schaltbilder, 6 Tab.

117/118 **Einseitenbandtechnik für den Funkamateur** (Friedh. Hillebrand). 2. Aufl. 148 Seiten, 118 Bilder, 12 Tabellen.

119/120 **Gedruckte Schaltungen** (Hans Sutaner). 128 Seiten, 49 Bilder, 2 Tabellen.

121/123 **Bastelpraxis** Band IV. Transistorpraxis (Werner W. Diefenbach). 160 Seiten, 125 Bilder, 16 Tabellen.

124/125 **Technische Akustik** (H. H. Klinger). 120 Seiten, 75 Bilder, 17 Tabellen.

126/127 **Betriebstechnik des Amateurfunks** (Hans-Joachim Henske). 128 Seiten, 27 Bilder, 5 Tabellen.

128/130 **Meßsender, Frequenzmesser und Multivibratoren** (Hans Sutaner). 160 Seiten, 125 Bilder.

131/133 **Elektronische Grundschaltungen** (Hans Schweigert). 1. Aufl., 208 Seiten, 165 Bilder, 4 Tabellen.

134/135 **Kleines Halbleiter-ABC** (Gustav Büscher). 112 S., 100 Bilder, 18 Tab.

137/140 **Farbfernsehen** (Dr.-Ing. Klaus Weiland). 2. Aufl., 52 Seiten Großformat, 46 Bilder.

141/142 **Dipmeter mit Röhren, Transistoren und Tunneldioden** (J. Reithofer). 116 Seiten, 92 Bilder, 5 Tabellen.

143/144 **Stereo-Decoder,** Funktion und Schaltungstechnik (Ludwig Ratheiser). 132 Seiten, 48 Bilder.

147/152 **Erfolgreicher Fernseh-Service.** Taschen-Lehrbuch der Fernsehempfänger-Reparaturtechnik (Heinz Lummer). 290 Seiten, 230 Bilder, 22 Tab.

HENNIG, Dipl.-Ing. WILHELM

Elektronische Schaltungen mit Fotozellen

2. Auflage

115/116

Doppel-Band

Die fotoelektrischen Wandler – Fotozellen, Fotoelemente, Fotowiderstände – finden in elektronischen Geräten äußerst vielseitige Anwendung. Sie steuern und regeln nicht nur die verschiedenartigsten Vorgänge in Abhängigkeit vom Grade der Beleuchtung; sie ermöglichen auch die berührungslose Steuerung durch den praktisch trägheitslosen Lichtstrahl.

Dieses Buch enthält eine Sammlung typischer Schaltungen von elektronischen Geräten mit fotoelektrischen Bauelementen für die verschiedenartigsten Verwendungszwecke. Die Wirkungsweise ist im Text übersichtlich beschrieben. Jedes Schaltbild enthält die elektrischen Daten der Schaltelemente.

Dem Praktiker wird so das Verständnis vorhandener Geräte erleichtert und Anregung zu eigener Arbeit auf diesem interessanten Gebiet der Elektronik gegeben.

Der Verfasser (1911) war nach dem Studium in Entwicklungs-Laboratorien und Fertigungsstätten der Rundfunk-, Fernseh- und Elektronik-Industrie tätig. Er arbeitet jetzt als Patent-Ingenieur und schreibt nebenher über Sondergebiete der Elektronik und der Werkstoffe.

RADIO-PRAKTIKER (VTM) BÜCHEREI